



UNIVERSIDAD DE CHILE

Facultad de Ciencias Forestales y Conservación de la Naturaleza

Programa Interfacultades

Magister en Gestión y Planificación Ambiental

**INCIDENCIA DE LA EXPANSIÓN URBANA Y RECONVERSIÓN
PRODUCTIVA EN LOS SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE LOS SUELOS DEL
VALLE DE AZAPA, NORTE DE CHILE (1999 – 2019)**

Memoria para optar al grado de Magister en Gestión y Planificación Ambiental

YERALDY DÍAZ VILLALOBOS

Profesor Guía: Enrique Aliste Almuna
Profesora Co-guía: Mónica Meza Aliaga

Santiago, Chile 2020

TABLA DE CONTENIDOS

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	OBJETIVOS	5
2.1.	Objetivo General	5
2.2.	Objetivos Específicos	5
3.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	6
3.1.	Servicios Ecosistémicos.....	7
3.2.	Dinámicas Socio-Económicas.....	17
3.2.1.	Dinámica de Expansión Urbana.....	18
3.2.2.	Dinámicas de expansión urbana y reconversión productiva en suelos agrícolas	20
3.2.3.	Dinámica de Reconversión Productiva	22
3.3.	Valle de Azapa	24
3.3.1.	Reconversión productiva agrícola en el Valle de Azapa.....	25
3.3.2.	Expansión urbana de Arica hacia el Valle de Azapa	27
4.	MATERIALES Y MÉTODOS	29
4.1.	Etapa 1. Medición de expansión urbana.....	31
4.2.	Etapa 2. Medición reconversión productiva	34
4.3.	Etapa 3. Evaluación cambios en el suelo	36
4.3.1.	Biomasa	38
4.3.2.	Temperatura Superficial	39
4.3.3.	Humedad	40
4.4.	Etapa 4. Relación de variables	41
5.	RESULTADOS	43
5.1.	Caracterización de los suelos del Valle de Azapa	43
5.2.	Expansión Urbana de Arica	47
5.3.	Reconversión productiva Valle de Azapa	60
5.4.	Impactos en los servicios ecosistémicos de los suelos del Valle de Azapa	65
5.4.1.	Biomasa	66
5.4.2.	Temperatura Superficial	73
5.4.3.	Humedad del Suelo.....	77
5.4.4.	Relación de variables	82
6.	DISCUSIÓN.....	93
7.	CONCLUSIONES.....	98
8.	ANEXOS.....	101
9.	BIBLIOGRAFÍA.....	103

Índice de tablas

Tabla 1. Descripción general de las críticas del concepto de Servicios Ecosistémicos.....	11
Tabla 3. Clasificación de servicios ecosistémicos finales.....	14
Tabla 4. Criterios de clasificación NDVI.....	39
Tabla 5. Criterio de interpretación Coeficiente de Correlación de Pearson	42
Tabla 6. Clasificación de uso de suelo agrícola USDA	44
Tabla 7. Capacidad de Uso Agrícolas suelos Valle de Azapa.....	44
Tabla 8. Superficie Edificada Valle de Azapa 1999-2019.....	51
Tabla 9. Superficie inscrita por semilleras para cultivo de transgénicos según especie	61
Tabla 10. Índice Normalizado de Diferencias de Vegetación. Valle de Azapa 1997– 2019	67
Tabla 11. Temperatura Superficial (C°). Valle de Azapa 1997– 2019.....	74
Tabla 12. Índice Normalizado de Diferencias de Agua. Valle de Azapa 1997– 2019	78
Tabla 13. Coeficiente de Correlación.....	84

Índice de figuras

Figura 1. Evolución Conceptual de Servicios Ecosistémicos	9
Figura 2. Marco conceptual: Cascada de los Servicios Ecosistémicos.....	13
Figura 3. Esquema metodológico	30
Figura 4. Servicios finales del ecosistema suelo en el Valle de Azapa	37
Figura 5. Capacidad de Uso de Suelo Agrícola Valle de Azapa	46
Figura 6. Límite Urbano de Arica	48
Figura 7. Límite Urbano de San Miguel de Azapa	49
Figura 8. Expansión urbana Valle de Azapa.....	54
Figura 9. Expansión urbana Sector Bajo Valle de Azapa	55
Figura 10. Expansión Urbana Sector Medio Valle de Azapa.....	56
Figura 11. Tomas ilegales ladera de cerros.....	59
Figura 12. Concentración de cultivos de semillas OMG, Valle de Azapa 2009 – 2019	64

Figura 13. Concentración de cultivos de semillas OMG, Azapa bajo y medio 2009 – 2019.....	64
Figura 14. Plantaciones en ladera sur del Valle de Azapa	70
Figura 15. Biomasa Valle de Azapa 1999 – 2004	71
Figura 16. Biomasa Valle de Azapa 2009 – 2019	72
Figura 17. Temperatura superficial. Valle de Azapa 1999 – 2004	75
Figura 18. Temperatura superficial. Valle de Azapa 2014 – 2019	76
Figura 19. Humedad suelo Valle de Azapa 1999 – 2009	80
Figura 20. Humedad suelo Valle de Azapa 2014 – 2019	81
Figura 21. Relación de variables con suelos según capacidad de uso	83
Figura 22. Relación expansión urbana - biomasa. Valle de Azapa Bajo 2019.....	86
Figura 23. Relación expansión urbana - humedad de suelo. Valle de Azapa Bajo 2019	87
Figura 24. Relación expansión urbana - temperatura superficial. Valle de Azapa Bajo	88
Figura 25. Relación reconversión productiva - biomasa. Valle de Azapa Bajo Medio	89
Figura 26. Relación reconversión productiva - humedad suelo. Valle de Azapa Bajo Medio	90
Figura 27. Relación reconversión productiva - humedad suelo. Valle de Azapa Medio Alto	91
Figura 28. Relación reconversión productiva – temperatura superficial. Valle de Azapa	92

Índice de gráficos

Gráfico 1. Superficie Edificada Valle de Azapa 1999-2019	52
Gráfico 2. Superficie Edificada Proyectada Valle de Azapa 1999-2040.....	52
Gráfico 3. Superficie inscrita por semilleras para cultivo de transgénicos según especie	62
Gráfico 4. Superficie de semillas OMG presentes en el Valle de Azapa 2009 - 2019	63
Gráfico 5. Índice Normalizado de Diferencias de Vegetación. Valle de Azapa 1997– 2019.....	69
Gráfico 6. Temperatura superficial (C°). Valle de Azapa 1997– 2019.....	73
Gráfico 7. Índice Normalizado de Diferencias de Agua. Valle de Azapa 1997– 2019.....	79

RESUMEN

El presente estudio aborda la incidencia de las dinámicas de expansión urbana y reconversión productiva sobre los servicios ecosistémicos de los suelos del Valle de Azapa, norte de Chile, durante el periodo 1999 - 2019, con el propósito de entender y prever las transformaciones que ha experimentado y experimentará, y con ello, orientar la toma de decisiones en el ámbito de la gestión ambiental.

Para esto se analizó el comportamiento de dichas dinámicas y los cambios evidenciados en algunos indicadores de suelo como biomasa, humedad y temperatura superficial, mediante el procesamiento de imágenes satelitales Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM y Sentinel 2, utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Se logró determinar que la ocupación de tierras para fines habitacionales en el valle tuvo un aumento vertiginoso a lo largo de las últimas décadas, en contraste con la ocupación para cultivos transgénicos por empresas semilleras, que tendió a la disminución. Pese a ello, en el contexto socio-económico del valle, no existe evidencia de un impacto negativo significativo en los servicios ecosistémicos del suelo durante el periodo en estudio.

1. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, Chile ha experimentado un importante crecimiento económico que ha impulsado la modernización productiva de sus cuencas, y con ello, el aumento de la presión ejercida sobre sus servicios ecosistémicos, generando una dicotomía entre los beneficios socioeconómicos y los impactos ambientales asociados (Cifuentes *et al.*, 2017; Leff *et al.*, 2002).

En el contexto mundial, los servicios ecosistémicos se ven amenazados en el medioambiente rural, principalmente por las dinámicas de reconversión productiva y expansión urbana. Ambas presiones, ponen en riesgo el flujo de los bienes naturales que otorgan beneficios financieros, ecológicos y culturales al ser humano, tales como aquellas funciones del suelo relacionadas con sus fundamentos físicos y geográficos. Dentro de estas funciones, es posible mencionar la recarga de los acuíferos, balance de temperatura en la interfase suelo-atmósfera, producción de biomasa vegetal, filtro para contaminantes y patógenos, entre otras (Acosta, 2017; Meza *et al.*, 2017).

Por otro lado, los valles con suelos de clases de capacidad para uso agrícola, son escasos a lo largo de todo Chile, debido a su accidentada topografía y condiciones de aridez, sobre todo en el norte del país, por lo que la alteración en el suministro de servicios ecosistémicos que proporcionan, impacta

significativamente tanto en el medio físico como social a nivel regional (Carrasco *et al.*, 2014). Desde el punto de vista físico los impactos se asocian a disminución de biomasa, fragmentación y pérdida de hábitat, exposición a erosión, cambios de temperatura local, alteración en el sistema hídrico, entre otros. Desde una perspectiva social, los impactos se relacionan con disminución de superficie para cultivo de alimentos, escasez y alza en el coste de productos, encarecimiento de la tierra, disminución de agua potable, desequilibrio en la estructura socioeconómica, entre otros (Meza *et al.*, 2017; Castro y Aliaga, 2010; Lahoz, 2010).

A lo largo de la cuenca del río San José, ubicada en la Región de Arica y Parinacota en el norte de Chile, se extiende el Valle de Azapa, el cual posee características que lo convierten en un factor determinante en la sustentabilidad del sistema de dicha cuenca, debido a que condiciona los procesos físicos, biológicos y sociales que se desarrollan en ella.

Sin embargo, durante los últimos dos decenios, se han evidenciado variadas dinámicas socioeconómicas en el valle, entre las cuales destacan: la expansión de la ciudad de Arica y la reconversión agrícola productiva procedente de la inserción de industrias semilleras, dentro de las más significativas.

Si bien existen investigaciones en el marco de proyectos de titulación de la Universidad regional de Tarapacá, que dan cuenta de las problemáticas asociadas a dichas dinámicas en el Valle de Azapa (Palomo, 2019; Gallardo, 2018; Vergara, 2016; Araya, 2015; Alcántara, 2009; Hernández *et al.*, 1997), no han sido abordadas en profundidad desde el ámbito académico ni gubernamental, y menos desde una perspectiva histórica e integral que contemple el estudio de servicios ecosistémicos. Respecto a éstos últimos, se han desarrollado iniciativas como el “Diagnóstico del estado y tendencias de la biodiversidad de la región de Arica y Parinacota” (2015), elaborado por el Ministerio del Medio Ambiente, que entre sus líneas de acción propone definir los ecosistemas existentes e identificar y valorizar los servicios ecosistémicos de la región; y a nivel país, a partir de estos diagnósticos regionales, se elaboró la Estrategia Nacional de Biodiversidad 2017–2030, en la que los servicios ecosistémicos adquieren protagonismo, buscando establecer mecanismos de gestión que permita su evaluación, restauración y protección.

Pese a estos primeros acercamientos al estudio de los procesos experimentados en el valle y los servicios ecosistémicos, persiste la inquietud respecto a los eventuales efectos adversos que podría ocasionar el actual manejo de los recursos naturales, específicamente del suelo, en el funcionamiento de la cuenca. Lo anterior, sobretudo al observar experiencias en zonas con características ambientales o productivas similares en Latinoamérica, abordadas

por autores como Cifuentes-Espinosa *et al.* (2018), Molina *et al.* (2019), Córdoba y Camardelli (2019), Montico *et al.* (2019), Agualimpia y Castro (2016), entre otros, que manifiestan una clara afectación en los servicios ecosistémicos y con ello en la calidad de vida de la población, debido a la transformación de espacios rurales asociada a cambios en el uso de suelo.

Por lo tanto, considerando la fragilidad de los ecosistemas en zonas desérticas, la importancia del Valle de Azapa a nivel regional, las dinámicas que se vienen produciendo durante las últimas décadas, los efectos adversos evidenciados en ecosistemas con características similares, la escasez de estudios locales e incipientes aproximaciones a la gestión de servicios ecosistémicos, surge la siguiente pregunta de investigación: ¿De qué manera los procesos de expansión urbana y reconversión productiva han repercutido sobre los servicios ecosistémicos de los suelos del Valle de Azapa durante el periodo 1999–2019?

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Analizar la incidencia de las dinámicas de expansión urbana y reconversión productiva, en los servicios ecosistémicos de los suelos del Valle de Azapa, entre los años 1999 y 2019.

2.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar la dinámica de expansión urbana de la ciudad de Arica hacia el Valle de Azapa, entre los años 1999 y 2019.
- Caracterizar la dinámica de reconversión productiva en el Valle de Azapa, entre los años 1999 y 2019.
- Identificar los cambios socio-ecológicos que el recurso suelo ha experimentado en el Valle de Azapa, entre los años 1999 y 2019.

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

La racionalidad económica imperante en el mundo globalizado, se expresa en términos de sustentabilidad, en la dicotomía existente entre el equilibrio de la naturaleza y los patrones productivos y de consumo. Esto debido a que no se considera la naturaleza como un sistema ecológico complejo, sino que se reduce a un capital, utilizando los recursos naturales como materia prima de procesos económicos, que implican también procesos socioculturales, políticos y territoriales (Cifuentes *et al.*, 2017; Leff *et al.*, 2002).

Esta paradoja se ampara en el concepto de desarrollo sustentable¹ que, si bien busca la utilización racional de los recursos naturales, considerando la capacidad de regeneración natural del medio, sigue respaldando la lógica capitalista, al actuar como discurso mitigador de sus efectos ecológicos adversos (Cifuentes *et al.*, 2017; Leff *et al.*, 2002). Esto implica una interacción e interdependencia entre los procesos naturales y sociales, en conflicto entre la sustentabilidad e insustentabilidad, como señala Leff (2011):

¹ No existe un concepto único de “*desarrollo sustentable*”, puesto que como señala Leff (2002), los conceptos que dejan entrever los problemas ambientales, adquieren diferentes significados y sentidos antagónicos. Sin embargo, la definición referente a nivel mundial, es la que se encuentra en el informe de la World Commission on Environment and Development (Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo) de las Naciones Unidas (1987), titulado “Our Common Future” (Nuestro Futuro Común), que lo define como “*el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades*” (Bermejo, 2014:16)

“La insustentabilidad de la racionalidad económica no es solamente una cuestión de creencias, de estrategias discursivas y de intereses económicos y políticos, en última instancia, lo que allí está en juego es la relación entre los procesos naturales (las leyes de la ecología y la entropía) y los procesos sociales (una racionalidad económica y social)” (Leff, 2011:26).

En el presente capítulo se revisarán aspectos relevantes en torno a los conceptos de servicios ecosistémicos, expansión urbana y reconversión productiva; enfatizando sus fundamentos teóricos, evolución y aplicación en términos de gestión ambiental, con la finalidad de establecer un marco que permita delimitar conceptualmente el estudio.

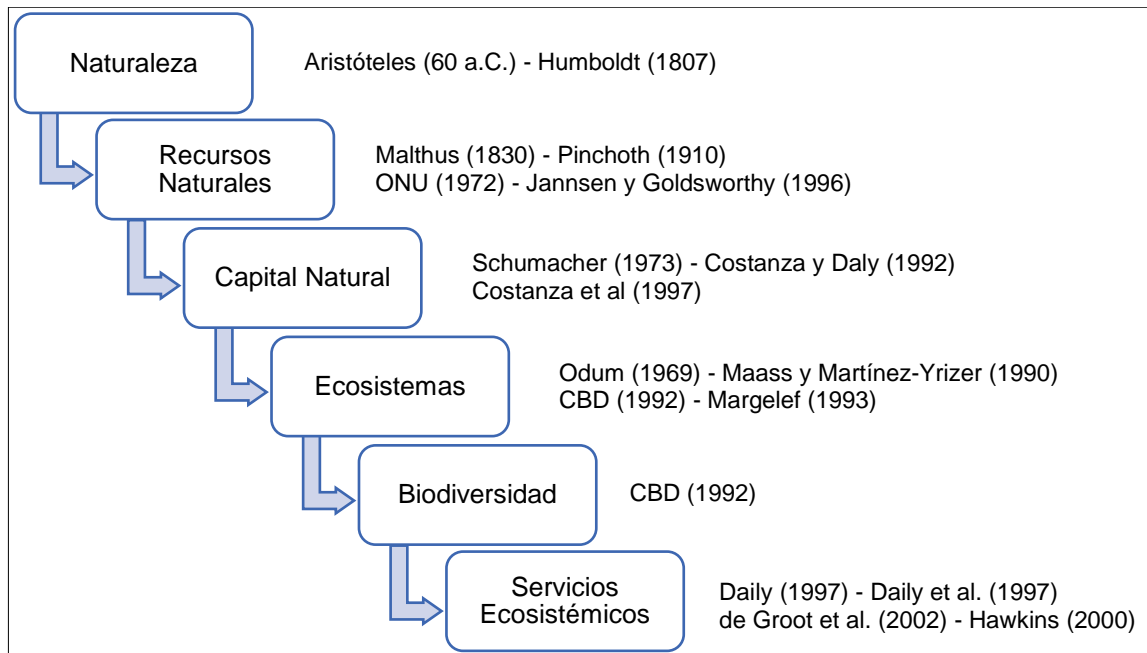
3.1. Servicios Ecosistémicos

La contradicción generada por la interacción de las dinámicas naturales y sociales bajo discursos políticos sustentables a nivel mundial, ejerce una presión sobre los sistemas ambientales que finalmente repercute en el suministro de servicios ecosistémicos para los seres humanos (Seppelt *et al* 2011).

En términos generales, los servicios ecosistémicos, son el resultado de la evolución conceptual de la noción de naturaleza y su relación con la sociedad, que ha tratado de ser comprendida desde distintos paradigmas a través de la historia; sumado a las intenciones de conservar la biodiversidad e incapacidad de transformar los patrones de deterioro ambiental observados durante las últimas décadas (Gómez-Baggethun *et al.*, 2010; Caro-Caro y Torres-Mora, 2015).

Históricamente, la concepción de naturaleza fue volcándose hacia términos como recursos naturales, capital natural, ecosistema, biodiversidad, hasta la década de los 70' (ver figura 1), cuando Westman (1977) por primera vez, se refiere de manera explícita a los servicios ecosistémicos en su publicación *How Much Are Nature's Services Worth*, pese a que la percepción de naturaleza como prestadora de servicios se origina previamente. Algunos autores, como Mooney y Ehrlich (1987) postulan que esta idea de "servicio" es producto del movimiento ambientalista de finales de la década de los 60', otros como Costanza (1992) afirman que surge junto al concepto mismo de ecología, y otros como Gómez-Baggethun *et al.* (2010), señalan que existe prácticamente desde el origen de la humanidad. Sin embargo, los primeros estudios sistemáticos sobre servicios ecosistémicos y que sientan las bases para su reflexión, fueron de Daily (1997) y Costanza y otros (1997), en particular estos últimos que los evalúan económicamente, asignándoles una valoración monetaria.

Figura 1. Evolución Conceptual de Servicios Ecosistémicos



Fuente: Caro-Caro y Torres-Mora, 2015

Con el transcurrir del tiempo, el concepto de servicios ecosistémicos se ha convertido en un instrumento clave en la gestión de políticas ambientales, sobre todo tras la publicación del informe de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio publicado por las Naciones Unidas en 2005, en el que se expone un diagnóstico de los ecosistemas a nivel global, las consecuencias de su degradación y directrices para la toma de decisiones.

En este contexto, dicho concepto ha sido ampliamente discutido desde el ámbito académico y político, y sigue planteando numerosos desafíos en cuanto a su definición, aplicación e interpretación, no obstante, existe consenso en la idea de que el bienestar humano pende de la salud de los ecosistemas, y que sus vínculos pueden ser comprendidos a partir de lo que se ha denominado servicios ecosistémicos (La Notte *et al* 2017, Seppelt *et al* 2011; Balvanera *et al.*, 2012).

Las discusiones más frecuentes, giran en torno al enfoque desde los cuales se abordan los SE, que transitan entre el ecológico y económico. En este escenario se desprenden distintas líneas de discusión, que Schröter (2014) sintetizó en 7: ética ambiental, relación humano-naturaleza, concepto de biodiversidad, valoración SE, mercantilización de la naturaleza, vaguedad, supuestos optimistas y objetivos normativos (ver tabla 1).

Tabla 1. Descripción general de las críticas del concepto de Servicios Ecosistémicos

Ámbito	Crítica	Contraargumentos
Ética medioambiental	El concepto de ES excluye el valor intrínseco de la naturaleza	El concepto de EE agrupa argumentos antropocéntricos válidos
	La conservación de la naturaleza debe basarse en valores intrínsecos en lugar de antropocéntricos	El dominio ES cultural incluye valores con elementos de valores intrínsecos, por ejemplo, valor de existencia
Relación humano-naturaleza	El enfoque en los SE podría promover una relación explotadora entre el ser humano y la naturaleza	El concepto de SE podría volver a conectar la sociedad con la naturaleza
	Esto podría contradecir las perspectivas holísticas de los pueblos indígenas	Los valores no materiales se pueden cubrir en el dominio de los SE culturales, para incluir los valores y las necesidades de las personas
Conflictos con el concepto de biodiversidad	El concepto de SE podría reemplazar la protección de la biodiversidad como objetivo de conservación	Existen superposiciones conceptuales entre los SE y la biodiversidad
	No hay evidencia concluyente de un escenario de "beneficio mutuo" entre la biodiversidad y los SE	Existe una creciente evidencia de que la biodiversidad sustenta las funciones de los ecosistemas que dan forma a los SE
	Los SE podrían no salvaguardar la biodiversidad, sino desviar la atención y los recursos	Las iniciativas actuales basadas en SE llevan a una perspectiva amplia sobre la gestión y conservación de la tierra
Valoración SE	El concepto de ES comprende un marco económico	La valoración monetaria proporciona información adicional en los procesos de toma de decisiones
	Las evaluaciones de EE a menudo implican una valoración económica	Las evaluaciones de SE no implican necesariamente valoración y la valoración no implica necesariamente monetización
Mercantilización y PSA	El enfoque de EE se basa en el supuesto de que el pago de los EE garantizará su prestación	Evaluar los SE en términos monetarios no equivale necesariamente a utilizar instrumentos de mercado
Vaguedad	ES se ha convertido en una frase "generalizada" debido a sus muchas definiciones vagas	La imprecisión del concepto de SE puede estimular la creatividad y el refinamiento de las definiciones
		El uso del concepto de SE puede facilitar que múltiples actores sociales interactúen sin consenso sobre el significado preciso y puede fomentar la investigación transdisciplinaria.
Supuestos optimistas y objetivos normativos	El concepto de SE es demasiado optimista. Los resultados de los ecosistemas pueden no siempre ser beneficiosos para los seres humanos	La terminología positiva muestra las intenciones optimistas y los intereses de investigación
		ES es uno de los muchos conceptos normativos utilizados dentro de la ciencia ambiental
		La libertad total de valores es imposible para la ciencia insertada en contextos socioculturales

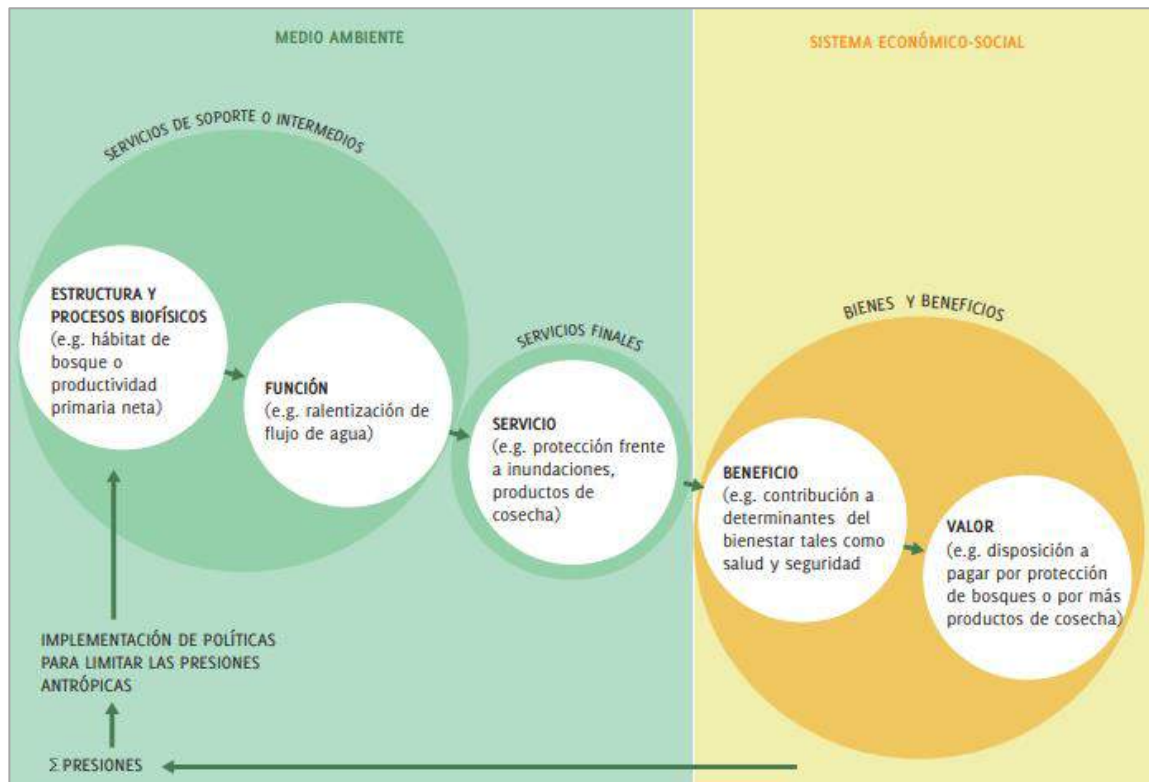
Fuente: Schröter, 2014

Asimismo, existe discrepancia en cuanto a la clasificación de los servicios ecosistémicos. Para los fines del presente estudio se trabajará con la Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) de la Agencia Ambiental Europea, que es la más aceptada actualmente a nivel mundial, además de ser la utilizada por el Ministerio de Medio Ambiente en Chile, para la definición de políticas públicas (MMA, 2014).

La CICES propone una conceptualización que divide al sistema en dos grandes grupos: Subsistema Medioambiental y Subsistema Socio-Económico. Dentro del Subsistema Medioambiental se encuentran los servicios de soporte o intermedios y los servicios finales; se denominan SE de soporte a aquellos de contribución indirecta y SE finales a aquellos de contribución directa, es decir, que son percibidos por la sociedad. El Subsistema Socio-Económico, engloba a los bienes y beneficios que otorgan bienestar al humano, asociados a los SE finales.

Estos subsistemas y los elementos que los componen, se esquematizan en una cadena de producción, en la que resulta necesario proteger la estructura que le da soporte al sistema para mantener el flujo constante de servicios ecosistémicos para el ser humano (ver figura 2).

Figura 2. Marco conceptual: Cascada de los Servicios Ecosistémicos



Fuente: Haines-Young & Potschin (2012)

En este sentido, la CICES propone la implementación de políticas ambientales que disminuyan las presiones sobre los SE de soporte, para asegurar la generación de SE finales, para los cuales se establece una clasificación en tres grupos: 1) Regulación y Mantenimiento, 2) Provisión, y 3) Cultural.

Tabla 2. Clasificación de servicios ecosistémicos finales

Sección	División	Grupo	
Regulación y Mantenimiento	Mediación de residuos, sustancias tóxicas y otras molestias	Mediación vía biota	
		Mediación vía ecosistemas	
		Flujos de masa	
	Mantenimiento de las condiciones físicas, químicas, biológicas	Flujos líquidos	
		Flujos gaseosos/aire	
Provisión	Nutrición	Mantenimiento de ciclo de vida, hábitat y protección de material genético	
		Control de plagas y enfermedades	
	Materiales	Composición y formación del suelo	
		Condiciones del agua	
		Regulación del clima y la composición atmosférica	
	Energía	Biomasa	
		Agua	
		Biomasa, fibra	
	Cultural	Interacciones físicas e intelectuales con los ecosistemas y paisajes terrestres/marinos (configuración ambiental)	Agua
			Fuentes de energía de biomasa
Interacciones de tipo espiritual, simbólica y otras con los ecosistemas y paisajes terrestres/marinos (configuración ambiental)		Energía mecánica	
		Interacciones físicas y experienciales	
		Interacciones intelectuales y de representación	
		Espiritual o emblemáticos	
		Otros productos culturales	

Fuente: Haines-Young & Potschin (2012)

Los SE de Regulación, son aquellos que se obtienen directamente de los procesos naturales del ecosistema; los SE de provisión, se refiere a los recursos naturales de los que se apropia y consume el ser humano; y los SE culturales, son los beneficios no tangibles que surgen de la interacción de los ecosistemas (MEA, 2005).

En general, existe aceptación de la categorización de SE de regulación y provisión. Por el contrario, los SE culturales han generado una serie de críticas y debates dentro del mundo científico, especialmente desde las ciencias sociales.

Los cuestionamientos de los SE culturales, dicen relación, en primer lugar, con la atribución de un carácter científico-natural a elementos estético-simbólicos. Por otro lado, se plantea que el alcance del término “servicios” es limitado, puesto que no abarca todas las dimensiones antropocéntricas, y al mismo tiempo, lo “cultural” es demasiado amplio y posee diversas acepciones. La discrepancia en estos puntos, ha dificultado la conceptualización, y con ello, la aplicación desde el punto de vista metodológico. En este sentido Kirchhoff (2019) sostiene que los beneficios no materiales de la naturaleza, deben ser vistos como contribuciones estético-simbólicas, fuera del marco de los SE.

Siguiendo esta lógica, la Plataforma Intergubernamental Científico-Normativa sobre Diversidad Biológica y Servicios de los Ecosistemas (IPBES), análoga al IPCC, en su marco conceptual incorporó el concepto de *Contribuciones de la Naturaleza a las Personas (CNP)*, que se define como “*todas las contribuciones que la humanidad obtiene de la naturaleza. Los bienes y servicios de los ecosistemas, examinados por separado o en conjuntos, están incluidos en esta categoría. En el marco de otros sistemas de conocimientos, los dones de la naturaleza y otros conceptos similares hacen referencia a los beneficios de la*

naturaleza de los cuales las personas obtienen una buena calidad de vida. En esta categoría amplia también se incluyen aspectos de la naturaleza que pueden ser negativos para las personas (perjuicios), como las plagas, los patógenos o los depredadores” (IPBES, 2019:51).

Esta integración de la IPBES ha generado discrepancias, especialmente al ser contrastada con los SE culturales (SEC). El aspecto cultural en el marco conceptual de la CNP, se aborda transversalmente en tres grupos: contribuciones reguladoras, contribuciones materiales y contribuciones no materiales, a diferencia del marco conceptual de los SE, que limita los SE culturales a una categoría aislada, dificultando su operatividad. No obstante, a pesar de las discusiones existentes en diferentes escenarios, el componente cultural es reconocido como un elemento vital en el estudio de los servicios ecosistémicos y, por lo tanto, siguen aumentando los esfuerzos por incorporarlo de la manera más adecuada en la toma de decisiones ambientales (Kadykalo *et al.* 2019).

A modo de síntesis, la conceptualización y aplicación de los servicios ecosistémicos en el ámbito ambiental, se encuentra en constante evaluación, sin embargo, no cabe duda que se constituyen como un elemento esencial en el análisis de los ecosistemas y sus beneficios, que integran aristas ecológicas, económicas y culturales. En términos generales, desde el punto de vista ecológico, mejoran la calidad ambiental mediante la captura de contaminantes en

los distintos componentes del medio (aire, suelo y agua); desde ámbito económico permiten acceso a bienes para la subsistencia o generación de riquezas; y desde el punto de vista cultural ofrecen servicios paisajísticos y oportunidades de recreación. Por lo tanto, la disponibilidad de servicios ecosistémicos no sólo se reduce al aprovisionamiento de beneficios al ser humano, sino que interviene directamente en el equilibrio del sistema de las cuencas, por lo que requiere de prácticas que aseguren su funcionamiento (Montoya-Tangarife *et al* 2017).

3.2. Dinámicas Socio-Económicas

La lógica económica del modelo neoliberal, que tiende a homogeneizar el comportamiento social en función de los patrones productivos, conduce las dinámicas socioeconómicas en gran parte del mundo y en Latinoamérica en particular (Cifuentes *et al.*, 2017). En América Latina, en menos de un siglo, las ciudades han experimentado un crecimiento explosivo y desordenado (Lahoz, 2010), y el producto interno bruto (PIB) ha transitado desde economías de monoproducción hacia la diversificación productiva, instaurando un contexto en el cual la expansión urbana y la reconversión productiva, se constituyen en dinámicas socioeconómicas funcionales y articuladoras para estas economías en desarrollo (Acosta, 2017).

3.2.1. Dinámica de Expansión Urbana

Los núcleos urbanos, conocidos como “ciudades”, en donde el modelo economicista ha concentrado sus actividades, se han convertido en el símbolo de la modernidad en los países subdesarrollados, por constituir grandes estructuras de bienes y servicios, que acogen corrientes migratorias atraídas por factores macroeconómicos (Bazant, 2010; Lahoz, 2010; Castro *et al.*, 2018).

Sin embargo, el excesivo crecimiento de las urbes y la diversificación de la productividad, han creado nuevas formas de urbanización a partir de la segunda mitad del siglo XX, entre las cuales se encuentra una migración inversa, es decir, de la ciudad al campo (Ekers *et al.*, 2012; Lahoz, 2010; Castro *et al.*, 2018). Esta nueva forma de urbanización, o también llamada “contraurbanización”, que busca alejarse de los centros de las ciudades ocupando los sectores rurales periféricos, sigue dependiendo económica y socialmente de ellas, provocando una discontinuidad en los límites de la misma (Ubilla-Bravo, 2020; Ekers *et al.*, 2012; Lahoz, 2010; Castro *et al.*, 2018). De esta manera, la frontera que divide el campo de la ciudad se convierte en un umbral de transición, representado por una línea imaginaria establecida en los planos urbanos estatales, que no necesariamente refleja la realidad económica, social y cultural de la zona urbana o rural (Jiménez *et al.*, 2018; Bazant, 2010; Castro *et al.*, 2018; Ubilla-Bravo, 2020).

Este proceso ha provocado una nueva configuración de la ruralidad en toda América Latina, que se puede describir y diferenciar bajo términos como periurbanización, rururbanización, suburbanización, extraurbanización o aburguesamiento rural (Castro *et al.*, 2018). En Chile en particular, de acuerdo a Ubilla-Bravo (2020) se observan principalmente dos tipos de contraurbanización en ciudades intermedias: suburbanización y rururbanización (ver figura X). Si bien ambos conceptos son entendidos como la transición territorial -acompañada de actividades y equipamiento- de una zona rural a urbana en la periferia de las ciudades, Ubilla-Bravo (2020) propone una diferenciación basada en la forma de ocupación del territorio. En este sentido, define área rururbana como *“asentamiento humano que tiene menos de 2.000 habitantes y que se encuentra espacialmente concentrado dentro del área rural (...) En general, la población que habita en áreas rururbanas se dedica a actividades primarias* (Ubilla-Bravo, 2020:82), y área suburbana la define como *“asentamiento humano donde sus habitantes se dedican a actividades terciarias como los servicios. El uso del suelo asociado al suburbano es la parcela de agrado, cuya principal función es residencial y de ocio para sus habitantes”* (Ubilla-Bravo, 2020:83).

A diferencia de las motivaciones que dieron origen a la contraurbanización, relacionadas con la búsqueda de nuevas oportunidades laborales, el motor que impulsa el proceso de contraurbanización actual, es la búsqueda de mejores entornos ambientales y paisajísticos, en función de expectativas personales,

familiares y de clase. Este nuevo paradigma, ha ido propiciando la segregación socio-territorial, dado que se consume bajo determinadas condiciones, entre las que se encuentran buena accesibilidad, alto componente verde y disponibilidad de servicios básicos; favoreciendo a familias de estratos socioeconómicos superiores a la media nacional (Castro *et al.*, 2018).

De igual manera, la percepción en torno a la expansión urbana ha sufrido modificaciones a través del tiempo, producto de los impactos evidenciados tanto en el ámbito socio-económico como ambiental, que podrían desestructurar el engranaje que mantiene el vínculo urbano-rural. Por lo tanto, la contraurbanización, entendida desde la rururbanización o suburbanización, implica una transformación constante que requiere de una planificación territorial que asegure el funcionamiento del sistema (Castro *et al.*, 2018).

3.2.2. Dinámicas de expansión urbana y reconversión productiva en suelos agrícolas

Las dinámicas socioeconómicas de expansión urbana y reconversión productiva, son interdependientes y consustanciales, de tal modo que una explica a la otra y, por lo tanto, la consecuencia de una es también la resultante de la otra,

instaurando una realidad socioespacial con aristas ambientales en toda América Latina (Castro *et al.*, 2018).

En el medioambiente rural, los impactos ambientales de estas dinámicas son considerados una amenaza para todo el funcionamiento de la cuenca. Tales impactos tienden a ser permanentes a mediano o largo plazo, pudiendo ser en ocasiones reversible, pero con un alto coste económico y social (Castro y Aliaga, 2010; Lahoz, 2010).

Los impactos ambientales del crecimiento poblacional urbano y la tecnificación de los procesos productivos agrosilvopecuarios, se relacionan, principalmente, con el uso descontrolado e inadecuado manejo del suelo, espacio vital para el desarrollo humano (Castro y Aliaga, 2010; Del Valle Neder *et al.*, 2010; Hernández *et al.*, 2010; Lahoz, 2010). El suelo, es considerado como un recurso natural renovable por algunos autores, ya que se forma a partir de la desintegración y transformación de materiales geológicos y orgánicos, sin embargo, la escala geológica difiere significativamente del periodo de existencia humana, por lo cual, se debe considerar que el suelo destruido no se recupera al ritmo de las exigencias productivas (García *et al.*, 2012; Luzio y Casanova, 2006).

Entendiendo que el suelo es un sistema complejo en el que interactúan elementos bióticos y abióticos, los principales impactos en este componente

ambiental, por la acción antrópica, son: degradación y pérdida de suelo, debido a la alteración de sus propiedades físicas, químicas y/o biológicas, lo que a su vez, generan impactos asociados a disminución de cobertura vegetal, fragmentación y pérdida de hábitat, cambios climáticos locales, alteración en el sistema hídrico, entre otros (Del Valle Neder *et al.*, 2010; Hernández *et al.*, 2010).

En este sentido, el recurso suelo se convierte en un indicador clave de degradación ambiental, siendo utilizado durante las últimas décadas como el centro de análisis de estudios sobre pérdida de servicios ecosistémicos por su rol protagónico en el funcionamiento de los ecosistemas (Meza *et al.*, 2017; Montoya-Tangarife *et al.*, 2017; Seppelt *et al.* 2011).

3.2.3. Dinámica de Reconversión Productiva

El sustento de las economías en Latinoamérica, proto-globalización, se basaba fundamentalmente en sistemas monoproduktivos tradicionales dedicados a satisfacer demandas específicas del mercado internacional, en desmedro de la producción a pequeña escala y la diversificación productiva del mercado interno (Acosta, 2017).

No obstante, el capitalismo globalizado, ha forzado a las economías en desarrollo a potenciar la heterogeneidad de su base productiva interna, con el propósito de enfrentar el mercado mundial y posicionarse competitivamente. Para ello, los países han tenido que modernizar sus procesos productivos, disminuir costos e incrementar ganancias, buscar nuevos productos y mejorar la calidad productiva (Acosta, 2017; Perry, 2008).

Como mecanismo de modernización, la incorporación de nuevas tecnologías y la diversificación del uso de suelos, han jugado un rol fundamental. En este contexto, la reconversión productiva se transforma en la estrategia de desarrollo económico preferida por los países de América Latina (Acosta, 2017; Perry, 2008).

La reconversión productiva agrícola, entre los distintos tipos de reconversión existentes, se constituye como una dinámica socioeconómica basal. Ésta se entiende como el *“cambio de la actividad forestal, agrícola o pecuaria o del sistema, buscando aprovechar la aptitud potencial del área o sitio con un uso óptimo del suelo y reducir la siniestralidad.”* (SAGARPA, 2004:8).

3.3. Valle de Azapa

En el norte de Chile, en la región árida de Arica y Parinacota, se ubica la cuenca del río San José, la cual alberga al Valle de Azapa que se extiende desde el curso medio al curso bajo del río principal, donde se conecta con la ciudad de Arica.

Dada sus características climáticas, edáficas e hídricas, el Valle de Azapa presenta una abundante vegetación en el fondo y sectores planos, compuesta por vegetación nativa además de especies introducidas; diferenciándose notablemente de casi todos los valles fértiles del Norte Grande, compuestos por cantidades escasas de especies, que se repiten a lo largo de los mismos (Carrasco *et al.*, 2014; González *et al.*, 2013).

Pese a las características de aridez y escasa profundidad de los suelos en el valle, este escenario posibilita el desarrollo de una actividad agrícola tradicional variada, orientada hacia la producción frutícola y hortícola; además de procesos de urbanización que demandan paisajes rurales para uso habitacional (Carrasco *et al.*, 2014).

Junto a las funciones productivas vegetales y paisajísticas, el Valle de Azapa y sus suelos permiten la posibilidad de establecer una relación de equilibrio entre los pisos ecológicos de la región, al actuar como un corredor que conecta el

ambiente andino con el costero, en medio de un transecto desértico que otorga complejidad al sistema; además de su relación indisociable con la ciudad de Arica.

3.3.1. Reconversión productiva agrícola en el Valle de Azapa

La agricultura se ha constituido históricamente en la principal actividad productiva del Valle de Azapa, adquiriendo un rol fundamental en la economía y articulación social regional desde sus inicios hasta el presente.

Desde el impulso que tuvo en la década de los 70' hasta la actualidad, la agricultura del Valle de Azapa ha mantenido su importancia no tan sólo a nivel regional, por ser un factor clave en el engranaje socio-económico local, gracias al abastecimiento de productos y generación de empleos; sino que además a nivel nacional, ha ido adquiriendo protagonismo por suplir la demanda alimentaria de otras regiones durante los meses de invierno, principalmente de tomate.

De acuerdo a los datos del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA), el Valle de Azapa posee una superficie cultivable total de 3.282 hectáreas, dentro de las que el cultivo de olivo (1.228 ha) y tomate (700 ha) son los más representativos (Carrasco *et al.*, 2014). No obstante, esta situación se ha visto alterada por la introducción de cultivos de semillas por parte de transnacionales

desde el año 2000, que hacen uso del suelo con fines distintos a los tradicionales del valle.

Este cambio de uso de suelo agrícola impulsado por semilleras, se caracteriza por la transición de procesos productivos agrícolas manuales a la modernización productiva mediante la aplicación de biotecnología en el ámbito de la investigación y desarrollo (I+D). Esto debido a que las condiciones edafoclimáticas que presenta el Valle de Azapa, posibilitan varios ciclos productivos de semillas al año, desplazando a otros lugares aptos para la investigación como Costa Rica y Hawai, que si bien son altamente productivos están más propensos a enfermedades y plagas, debido a la alta humedad que presentan (Traub, 2011).

La instalación de estas transnacionales en el Valle de Azapa, es considerada por algunos sectores como un aporte a la economía regional debido a que ha reportado beneficios como la generación empleos, desarrollo de programas académicos en alianza con centros estudiantiles regionales, además del aumento de la demanda de servicios adicionales, tales como hotelería, alimentación, transporte, etc. Por el contrario, también es considerada una amenaza para el medio ambiente y salud de la población, principalmente por el cultivo de transgénicos (Traub, 2011).

A pesar de esta controversia, el Estado mediante su marco legislativo e impulsión de programas, contribuye a la mejora del contexto para el desarrollo de esta industria, aun cuando el Valle de Azapa se enfrenta a algunas dificultades para su crecimiento, relacionadas principalmente, a la incierta disponibilidad de agua para riego, a la escasez de suelo cuya demanda creciente ha encarecido sus valores, y el rechazo por parte de la comunidad a los OVGM (Traub, 2011).

3.3.2. Expansión urbana de Arica hacia el Valle de Azapa

La ciudad de Arica, es la capital de la Región de Arica y Parinacota, la cual limita con los países de Perú y Bolivia. Su ubicación la convierte en un lugar estratégico desde el punto de vista geopolítico, jugando un rol fundamental en las relaciones internacionales con dichos países, principalmente por su condición de puerto.

En este contexto la ciudad acoge a inmigrantes provenientes de países sudamericanos, principalmente de los países limítrofes, lo que, junto con las dinámicas internas de natalidad-mortalidad, ha contribuido al aumento de su población durante las últimas décadas. Según el último censo realizado por el Instituto Nacional de Estadísticas en 2017, la ciudad de Arica cuenta con una población total de 221.364 habitantes, que representa al 97,9% de la población regional y aumentó en un 19,48% respecto al censo del año 2002.

Este crecimiento demográfico de Arica, ha impulsado una serie de proyectos inmobiliarios que ha producido un explosivo crecimiento hacia el norte de la ciudad y hacia el Valle de Azapa, generando un aumento de su ritmo expansivo durante los últimos años, en contraste a lo que ocurre en la mayoría de las regiones del país, que han tendido a la ralentización (Minvu, 2013).

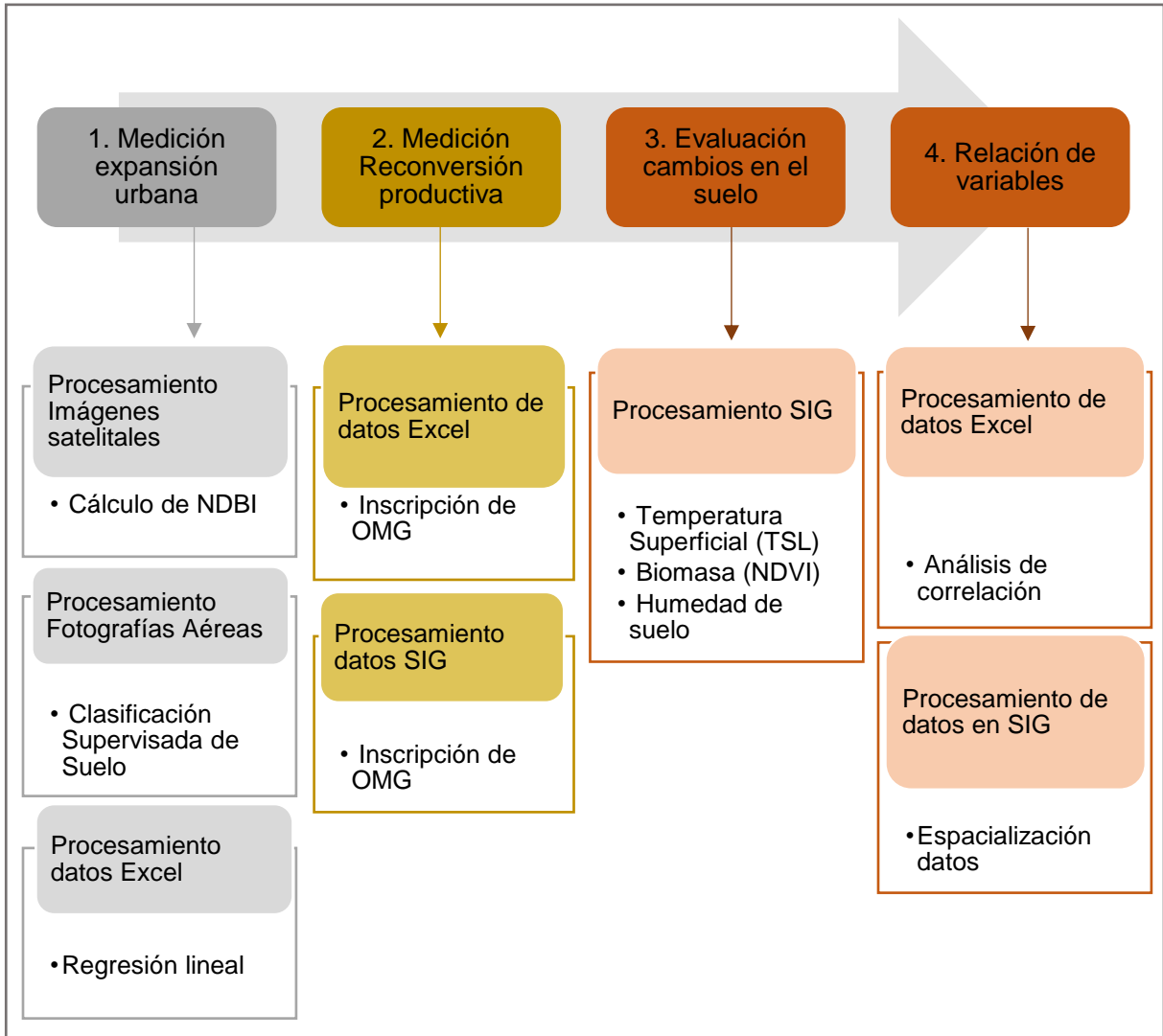
De esta manera, actualmente el Área Urbana Consolidada (AUC) de la ciudad alcanza una superficie total de 3.118 ha, concentrando el 85% de las viviendas de la región. Sin embargo, dicha expansión, que abarca el 65% del área urbana planificada de acuerdo al Plan Regulador Comunal vigente (2009), presenta sectores que sobrepasan el límite urbano establecido, principalmente hacia el Valle de Azapa (INE y Minvu, 2018; Minvu, 2013).

A los proyectos inmobiliarios emplazados en el límite de la ciudad de Arica con el Valle de Azapa, se le suma la migración producida desde lo urbano a lo rural, que no se relaciona con la adquisición de viviendas de proyectos inmobiliarios, sino que de tierras agrícolas para uso habitacional. Esta situación ha generado un difuso límite urbano, que más bien tiende a formar un umbral de transición entre a ciudad de Arica y el Valle de Azapa. Cabe señalar que la población que migra hacia el valle, pertenece a un estrato socioeconómico alto.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología utilizada posee un carácter cuali-cuantitativo y se basa en el análisis de datos provenientes de fuentes tanto primarias como secundarias. Se estructuró en 4 etapas, vinculadas a actividades para cada uno de los objetivos estratégicos establecidos: 1) Medición de expansión urbana, 2) Medición de la reconversión productiva, 3) Evaluación de los cambios en el suelo del valle y 4) Relación de variables (ver figura 3).

Figura 3. Esquema metodológico



Fuente: Elaboración propia

4.1. Etapa 1. Medición de expansión urbana

Materiales:

- a. Imágenes satelitales Landsat 5 TM (1999 – 2011)
- b. Imágenes satelitales Landsat 7 ETM (1999 – 2015)
- c. Imágenes satelitales Sentinel 2 (2016 – 2019)
- d. Fotografías aéreas Google Earth (2003 – 2019)
- e. Software de Sistema de Información Geográfica (SIG)
- f. Sistema de Posicionamiento Global (GPS)
- g. Planes Reguladores Comunales de Arica (PRCAs)

Métodos:

Para calcular la expansión de la ciudad de Arica hacia el valle de Azapa, se utilizaron distintos métodos cartográficos y estadísticos. Los primeros hacen referencia al procesamiento de imágenes satelitales, fotografías aéreas, puntos GPS, instrumentos de planificación territorial y datos censales en Sistemas de Información Geográfica, mediante el uso de los softwares ENVI, ArcGis 10.5 y QGis 3.4. Y los segundos, se relacionan con procesos matemáticos que permitieron complementar datos faltantes, calcular promedios, porcentajes, tendencias y proyecciones, utilizando el software Microsoft Excel. La complementariedad de estos métodos permitió obtener la cobertura de suelo urbano para cada año del periodo 2003 - 2019.

a. Procesamiento de imágenes satelitales: Se calculó el Índice de Diferencia Normalizada Edificada (NDBI) a partir de la combinación de bandas multiespectrales de imágenes Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM y Sentinel 2 (Kamali *et al.*, 2020). Con el NDBI, se pudo estimar áreas edificadas frente a suelos desnudos o con vegetación, cruzando la información del espectro infrarrojo mediante la siguiente fórmula:

$$\text{NDBI} = (\text{SWIR} - \text{NIR}) / (\text{SWIR} + \text{NIR})$$

Cabe señalar que previamente se realizó una corrección radiométrica y atmosférica de las imágenes satelitales, para eliminar distorsiones y nubosidad que podría dificultar el análisis. Las correcciones de imágenes se realizaron con el software ENVI y el cálculo de NDBI con QGIS.

b. Procesamiento fotografías aéreas: De manera complementaria, con la finalidad de precisar los resultados de NDBI del procesamiento de imágenes satelitales, se realizó una clasificación supervisada de uso de suelo desde el año 2003 al 2019 a partir de fotografías aéreas de Google Earth. Esto permitió establecer clases por medio de la identificación manual de valores de cada pixel de la imagen ráster y posterior análisis estadístico automático multivariado en ArcGIS.

c. Procesamiento de datos cuantitativos: Los resultados de superficie edificada obtenidos en los procesos anteriores fueron exportados del SIG, y luego procesados en Microsoft Excel. No se disponía información para todos los años en estudio, por lo que fue necesario estimar los datos faltantes. Para ello se realizó un análisis de regresión lineal simple, que toma los datos de dos variables (una dependiente y otra independiente), en este caso, año (independiente) y superficie (dependiente), y a partir de la relación entre ambas calcula los datos inexistentes. Posteriormente se realizaron cálculos estadísticos básicos como promedio, media, desviación estándar, y se hicieron proyecciones hasta el año 2040.

Finalmente, con la información obtenida a partir del procesamiento de imágenes, puntos GPS, fotografías aéreas, censos de población y PRCAs, se confeccionaron cartografías para cada año en estudio (2003 al 2019), que al superponerse permitirán evidenciar los cambios de superficie urbana sobre el Valle de Azapa en el tiempo.

4.2. Etapa 2. Medición reconversión productiva

Materiales:

- a. Imágenes satelitales Landsat 5TM (1999 – 2002)
- b. Fotografías aéreas Google Earth (2003 – 2019)
- c. Software de Sistema de Información Geográfica (SIG)
- d. Software Estadístico
- e. Sistema de Posicionamiento Global (GPS)
- f. Base de datos SAG (inscripción de semilleros OGM)

Métodos:

a. Trabajo de campo: Consistió en el levantamiento in situ de información relacionada a la reconversión productiva en el valle. Cabe señalar, que el estudio se limita a la reconversión productiva exclusiva de semilleras, ya que representa la mayor cantidad de superficie intervenida para estos fines en las últimas dos décadas en Azapa; por lo tanto, el trabajo en terreno se enfocó en identificar el emplazamiento de dichas empresas, utilizando como guía la base de datos sobre inscripción de cultivos transgénicos del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) que contiene información desde el año 2009 al 2019.

b. Procesamiento en SIG: Corresponde a la sistematización y georreferenciación de la información obtenida en terreno y base de datos de cultivos transgénicos del SAG en Sistemas de Información Geográfica. Se ingresaron los datos en el software ArcGis 10.5, y se comprobaron usando fotointerpretación, técnica empleada para estudiar y analizar la información contenida en una fotografía aérea, mediante la que se obtiene visualmente un análisis del lugar estudiado. Las fotografías aéreas utilizadas fueron de Google Earth, y pansharpening de imágenes Landsat 5TM y 7 ETM (combinación de pancromática con bandas RGB).

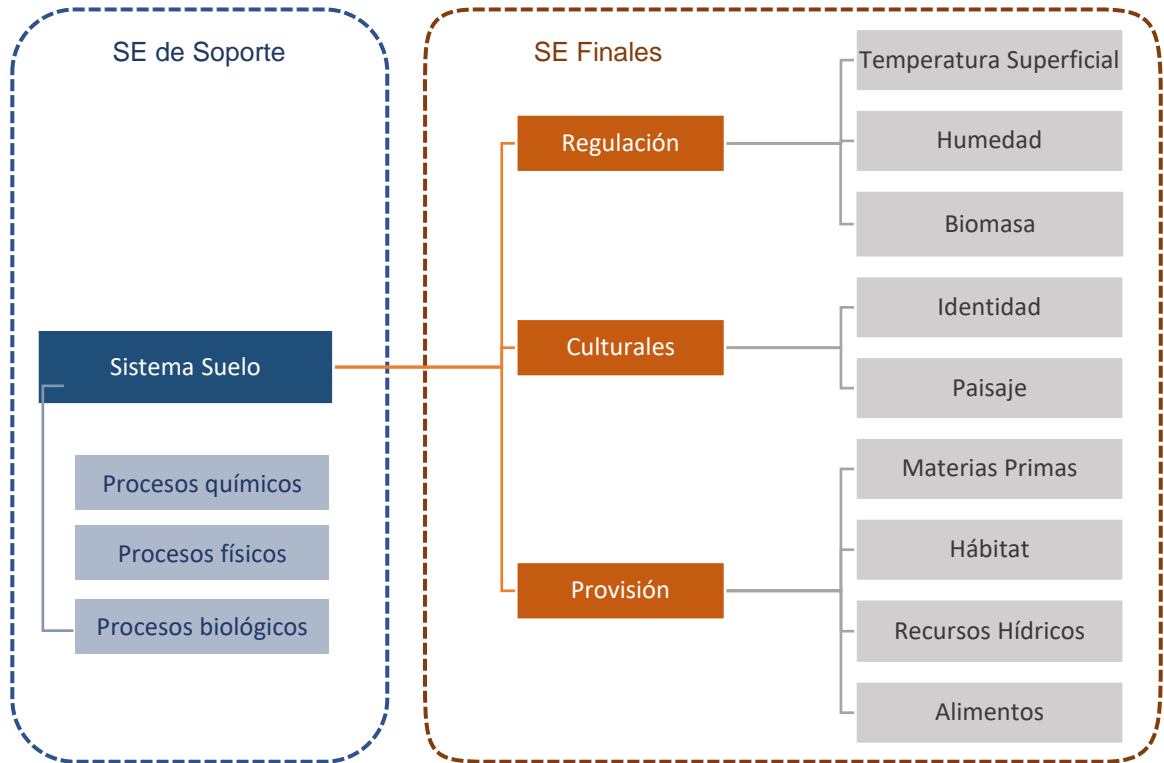
A partir de ello, se elaboraron cartografías con la distribución de empresas de semillas, que han llevado a cado procesos de reconversión productiva en el valle para cada año es estudio.

4.3. Etapa 3. Evaluación cambios en el suelo

La clasificación de servicios ecosistémicos de la CICES que se utilizó, considera SE de soporte y SE finales (figura 1). En este sentido, el suelo se constituye como un SE de soporte, que posibilita la generación de SE finales, entre los que encontramos: servicios de regulación, de provisión y culturales. Para los fines del presente estudio, se calculó la pérdida y degradación de suelo, midiendo los servicios ecosistémicos finales de regulación, a partir de los siguientes indicadores (ver figura 4):

- Biomasa
- Temperatura superficial
- Humedad de suelo

Figura 4. Servicios finales del ecosistema suelo en el Valle de Azapa



Fuente: Elaboración propia

Materiales:

- a. Imágenes satelitales (Sentinel 2, Landsat 5 TM, 7 ETM y 8 OLI)
- b. Software de Sistema de Información Geográfica (SIG)
- c. Software Estadístico

4.3.1. Biomasa

Para medir el comportamiento de la vegetación del Valle de Azapa, se calculó el Índice Diferencial Normalizado de Vegetación (NDVI) a partir de imágenes Landsat 5TM, Landsat 7ETM y Sentinel 2 del periodo 1999 – 2019, utilizando los softwares ENVI, QGis y ArcGis. El NDVI establece un valor entre el rango -1 y 1 para cada pixel del ráster, donde 1 representa sectores con abundancia de vegetación y -1 a sectores con escasa y/o nula vegetación (Mutti *et al.*, 2020). Para ello, se combinaron las bandas multiespectrales del rojo e infrarojo cercano, utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED})$$

Para clasificar la información obtenida, se establecieron umbrales discriminatorios a partir de una interpretación visual basada en un previo trabajo de campo, en el que se identificaron las áreas con vegetación o desprovistas de ella (Navarro *et al.*, 2007) (tabla 4).

Tabla 3. Criterios de clasificación NDVI

Clase	Rango	Densidad Vegetacional
1	-1 – 0	Muy baja o nula
2	0 – 0,05	Baja
3	0,05 – 0,15	Moderada
4	0,15 – 0,25	Alta
5	0,25 – 1	Muy Alta

Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se elaboraron cartografías con el NDVI resultante de cada año en estudio, para comparar e identificar los sectores con pérdida de cobertura vegetal.

4.3.2. Temperatura Superficial

La temperatura superficial (LST, por sus siglas en inglés Land Surface Temperature) se calculó combinando las bandas térmicas de imágenes Landsat 5TM, 7 ETM y 8 OLI del periodo en estudio (Tariq *et al.*, 2020). Para ello se aplicó previamente una serie de ecuaciones en Sistemas de Información Geográfica, que considera: cálculo de radiancia espectral TOA (Top Atmospheric), cálculo de temperatura de brillo (BT, Brightness Temperature), cálculo de NDVI, cálculo de proporción de vegetación Pv y cálculo de Emisividad. Lo anterior proporcionó la información necesaria para calcular la LST, utilizando la siguiente fórmula:

$$LST = (BT / (1 + (0.00115 * BT / 1.4388) * \ln(\epsilon)))$$

A partir de la información obtenida se elaboraron mapas de temperatura superficial para cada año del periodo 1999 – 2019.

4.3.3. Humedad

Para determinar la humedad del suelo, se calculó el Índice Diferencial Normalizado de Agua (NDWI), combinando las bandas multiespectrales del infrarrojo de imágenes Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM y Sentinel 2. Al igual que en el caso del índice de vegetación NDVI, los valores obtenidos a partir del NDWI oscilan entre -1 y 1, los cuales representan baja o alta saturación de humedad respectivamente. La ecuación para determinar el NDWI es la siguiente:

$$NDWI = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$$

Como resultado se obtuvo la humedad de suelo para cada año en estudio, las que permitieron identificar las variaciones de humedad durante los últimos decenios.

4.4. Etapa 4. Relación de variables

Esta etapa consistió en cruzar todas las variables calculadas previamente, con la finalidad de evaluar el grado de incidencia de las dinámicas en estudio sobre los suelos del Valle de Azapa durante el periodo 1999 – 2019. Las variables cruzadas fueron: 1) reconversión productiva y 2) expansión urbana, con las de 3) biomasa, 4) temperatura superficial y 5) humedad del suelo. Para ello se realizó un análisis estadístico en Microsoft Excel y un análisis espacial en Sistemas de Información Geográfica.

a. Análisis estadístico: Consistió en el análisis de datos utilizando el Coeficiente de Correlación de Pearson, método que permite determinar el grado y tipo de relación existente entre variables cuantitativas, estableciendo rangos que oscilan entre -1 y 1, donde la correlación es más directa en la medida que los valores se acercan a -1 o 1, y menos directa en la medida que se acercan a 0 (ver tabla 5).

Tabla 4. Criterio de interpretación Coeficiente de Correlación de Pearson

Rango	Tipo de correlación
-1	Correlación negativa perfecta
-0,9 – -0,99	Correlación negativa muy alta
-0,7 – -0,89	Correlación negativa alta
-0,4 – -0,69	Correlación negativa moderada
-0,2 – -0,39	Correlación negativa baja
-0,01 – -0,19	Correlación negativa muy baja
0	Correlación nula
0,01 – 0,19	Correlación positiva muy baja
0,2 – 0,39	Correlación positiva baja
0,4 – 0,69	Correlación positiva moderada
0,7 – 0,89	Correlación positiva alta
0,9 – 0,99	Correlación positiva muy alta
1	Correlación positiva perfecta

Posteriormente, se midió la significancia del coeficiente de correlación entre las variables, para comprobar que la relación resultante no fue producto del azar. El coeficiente de correlación se considera significativo cuando se comprueba probabilísticamente que es distinto a 0, para lo que es necesario calcular y comparar el estadístico t calculado y estadístico t crítico. Si t calculado es mayor a t crítico se rechaza la hipótesis nula de correlación igual a 0, por lo tanto, existe una relación entre variables, y viceversa.

5. RESULTADOS

5.1. Caracterización de los suelos del Valle de Azapa

En el norte de Chile, la disponibilidad de suelos aptos para la actividad agrícola es escasa, debido a la escabrosa topografía y aridez que presenta. En este contexto, el Valle de Azapa destaca a lo largo del norte grande, por constituirse como uno de los más fértiles y diversos en cuanto a cultivos de la zona.

La clasificación convencional de capacidad de uso agrícola del USDA (en inglés *United States Department of Agriculture*), agrupa los suelos en ocho clases en función de sus condiciones productivas, limitaciones y riesgos de daño. Las clases del I al IV son consideradas tierras aptas para cultivo, mientras que las clases del V al VIII se consideran tierras de uso limitado, no apta para cultivo, como se detalla en la tabla 6.

De acuerdo a esta clasificación, el Valle de Azapa posee 3.048 hectáreas de suelos cultivables y 1.707 hectáreas de suelos con uso limitado para el cultivo, las cuales representan el 64% y 36% respectivamente, de un total de 4.755 hectáreas (ver tabla 7).

Tabla 5. Clasificación de uso de suelo agrícola USDA

Clase	Características
	Tierras aptas para cultivo
Clase I	Cultivables sin limitaciones de uso
Clase II	Cultivables con ligeras limitaciones de uso y moderados riesgos de daño
Clase III	Cultivables con moderadas limitaciones de uso susceptibles de corrección, y riesgos de daños
Clase IV	Cultivables sólo ocasionalmente por presentar serias limitaciones de uso y alto riesgo de daños
	Tierras de uso limitado generalmente no adaptada a los cultivos
Clase V	Apta para pastoreo y/o forestación, sin limitaciones
Clase VI	Apta para pastoreo y forestación, pero susceptibles a la erosión
Clase VII	Uso restringido para pastoreo y uso principal para forestación
Clase VIII	Tierras sin uso agropecuario y forestal

Fuente: Comisión Nacional de Riego

Tabla 6. Capacidad de Uso Agrícolas suelos Valle de Azapa

Capacidad de uso	Superficie (ha)	Porcentaje %
Clase I	0	0
Clase II	1.608,52	33,83
Clase III	1.100,48	23,14
Clase IV	338,83	7,13
Clase V	0	0
Clase VI	0	0
Clase VII	1.175,62	24,72
Clase VIII	531,75	11,18
Total	4.755,20	100

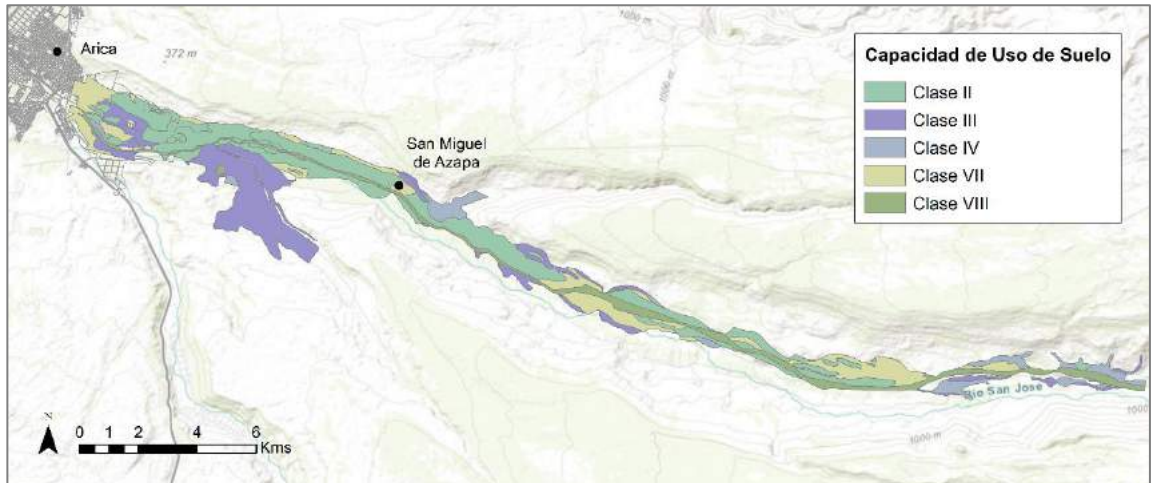
Fuente: Elaboración propia

Los suelos predominantes en el valle, según su capacidad de uso, corresponden a la clase II (34%), seguida por la clase VII (25%) y clase III (23%).

La clase II, se compone de suelos altamente productivos que presentan mínimas limitaciones de uso y necesitan un reducido manejo para su conservación. La clase III, si bien presenta más limitaciones que la anterior, sigue siendo óptima para cultivos específicos, manteniendo un adecuado manejo. Estos suelos se caracterizan por presentar pendiente suave, texturas moderadas a gruesas, drenaje moderado e imperfecto, y una profundidad, erosión y pedregosidad en el perfil de ligera a moderada. Si se consideran ambas clases de suelo, queda en evidencia que más de la mitad del valle (57%) posee tierras con gran potencial productivo.

Por el contrario, los suelos de la clase VII no son arables, y se destinan principalmente para actividades pastoriles y forestales. Se caracterizan por ser escarpados, con casi nula profundidad, con abundante pedregosidad superficial, texturas finas a muy gruesas, con severa erosión e inundaciones frecuentes, además de ser extremadamente sódicos y salinos (ver anexos 1 y 2).

Figura 5. Capacidad de Uso de Suelo Agrícola Valle de Azapa



Fuente: Elaboración propia

Los suelos de clase II, es decir, aquellos con mayor capacidad de uso agrícola, se encuentran principalmente en la parte baja y media del valle, que comprende el sector ubicado entre la ciudad de Arica y el pueblo de San Miguel. Los suelos de clase III, que también son aptos para agricultura, se sitúan en el sector de Alto Ramírez. Y los suelos de clase VII, que no poseen capacidad de uso agrícola, se ubican en su mayoría en la entrada de Azapa, área colindante con la ciudad de Arica. En el sector alto del valle, donde tiende a angostarse, aparecen las clases con menor o nula aptitud agrícola y se presentan de manera segregada, como se puede apreciar en la figura 5.

Bajo estas condiciones edáficas generales, se han ido desarrollando las dinámicas socio-económicas de expansión urbana y reconversión productiva que se detallarán en los siguientes apartados.

5.2. Expansión Urbana de Arica

El actual Plan Regulador Comunal de Arica (PRCA), aprobado el año 2009, establece como límite urbano (LU) el kilómetro 1 del Valle de Azapa, sector destinado a uso residencial de acuerdo al mismo. Cabe señalar que actualmente se encuentra en evaluación la actualización del PRCA vigente y que, a pesar de pretender aumentar el radio urbano de Arica en un 46% (4.156,8 hectáreas), no contempla una modificación hacia el valle de Azapa (ver figura 6).

El principal argumento sostenido para mantener el LU hacia Azapa, radica en el valor natural y paisajístico del valle tanto a nivel regional como nacional y, por consiguiente, en el interés de conservarlo en el tiempo.

Se sostiene que la existencia de parcelas de 5.000m² destinadas a uso habitacional en sectores colindantes al LU, no son significativas (25%) respecto a los suelos destinados para cultivo agrícola en los primeros 3,8 kilómetros del valle. Además, este tipo de parcelación es común en torno a los límites urbanos

de las ciudades, especialmente hacia los valles, por lo tanto, ampliarlo sólo trasladaría la multiplicación de subdivisiones hacia un nuevo LU, lo que finalmente se traduciría en la desaparición del valle en un promedio de 60 o 70 años, si se continúa con esta dinámica.

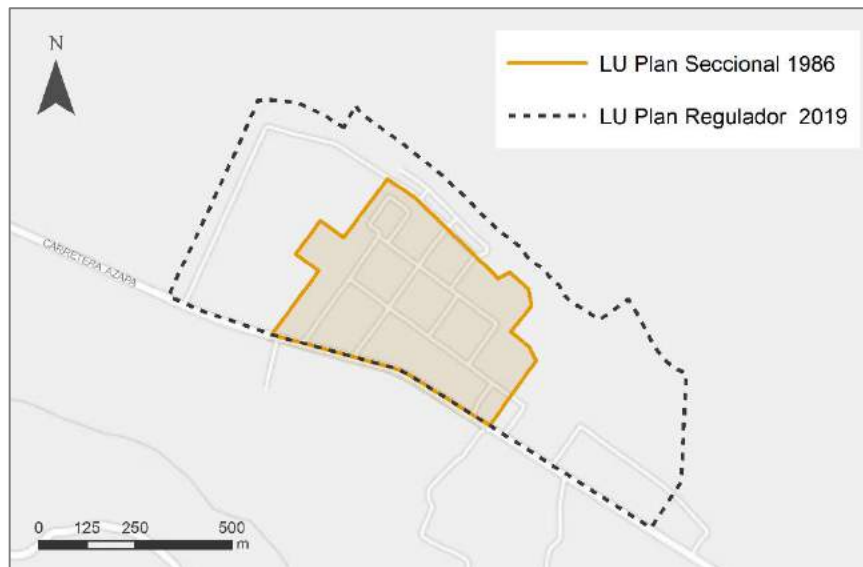
Figura 6. Límite Urbano de Arica



Fuente: Elaboración propia en base a PRCA 2009 y PRCA 2019

Por el contrario, para el pueblo de San Miguel, ubicado en el kilómetro 12 del valle, el proyecto de nuevo Plan Regulador Comunal contempla una ampliación del límite urbano en un 59,5%, es decir, que las 24,1 hectáreas del vigente Plan Seccional (1986) aumentarían a 67,4 ha (ver figura 7).

Figura 7. Límite Urbano de San Miguel de Azapa



Fuente: Elaboración propia en base a PRCA 2009 y PRCA 2019

La diferencia en la decisión de mantener o modificar los límites urbanos del Plan Regulador comprometidos en el valle de Azapa, refleja la disimilitud socioeconómica existente entre ambos puntos. Por un lado, la población que reside en los primeros kilómetros del valle, se caracteriza por pertenecer a un estrato socioeconómico acomodado, y sus actividades productivas se relacionan con la ciudad, por ende, sólo se limitan a vivir en el valle; en contraste, la

población del pueblo de San Miguel, que es mayoritariamente indígena, pertenece a estratos socioeconómicos bajos, y se dedican principalmente a la agricultura o comercio de productos alimenticios, por lo tanto, existe una relación directa entre su lugar de vivienda y actividad económica.

Pese a esta desigualdad, los resultados indican que la superficie edificada a lo largo de todo el Valle de Azapa, ha ido en aumento durante las últimas dos décadas, con un crecimiento promedio anual de 6,26%. Si bien se observa un aumento constante, la variación de crecimiento no presenta un patrón regular de comportamiento, observando el valor máximo en el año 2015 de 9,8% y valores mínimos entre los años 2005, 2006 y 2019, de 3,79%, 3,31% y 3,44% respectivamente (ver tabla 8 y gráfico 1).

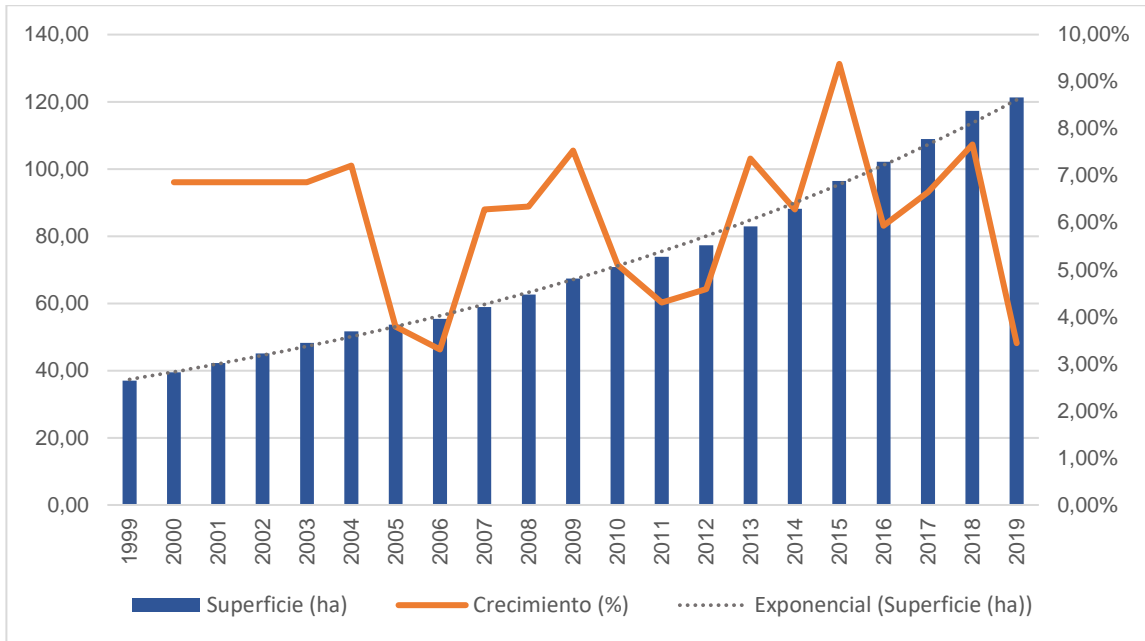
Tabla 7. Superficie Edificada Valle de Azapa 1999-2019

Año	Superficie (ha)	Crecimiento (%)
1999	36,98	-
2000	39,52	6,86
2001	42,23	6,86
2002	45,12	6,86
2003	48,22	6,86
2004	51,70	7,22
2005	53,66	3,79
2006	55,44	3,31
2007	58,92	6,28
2008	62,65	6,34
2009	67,37	7,53
2010	70,81	5,10
2011	73,86	4,31
2012	77,25	4,59
2013	82,94	7,37
2014	88,15	6,28
2015	96,42	9,38
2016	102,14	5,94
2017	108,93	6,65
2018	117,28	7,66
2019	121,31	3,44

Fuente: Elaboración propia

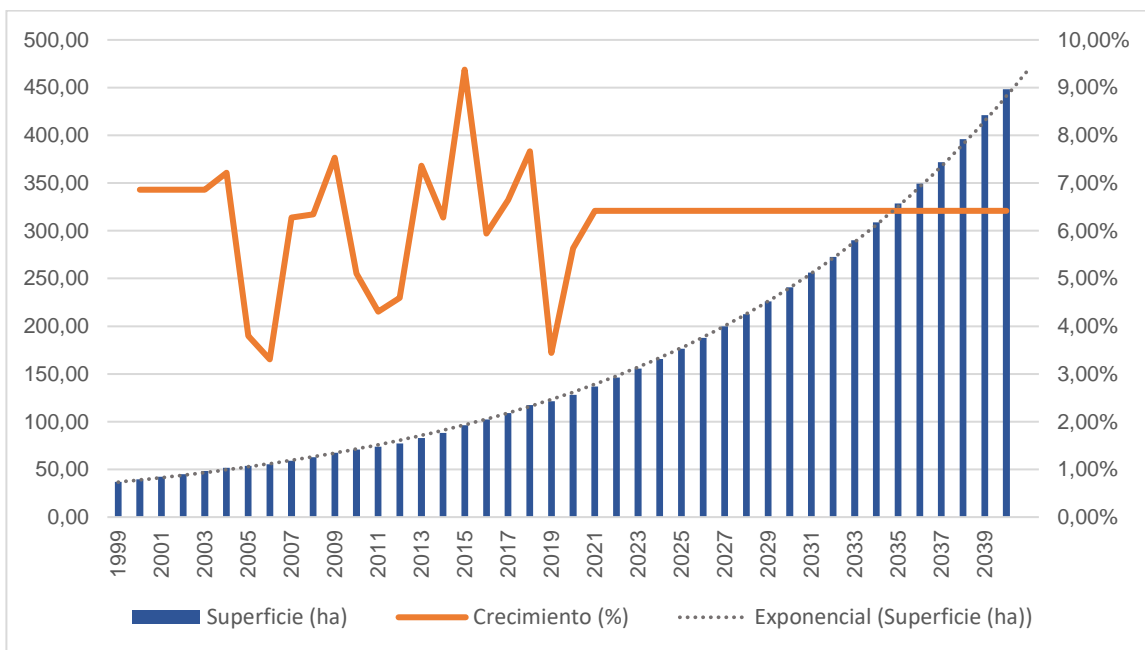
Si la tendencia hacia el aumento de las edificaciones en el Valle de Azapa mantuviese el actual ritmo de crecimiento durante los próximos 20 años, se proyecta para el 2040 una superficie total de edificaciones de 448,31 hectáreas, es decir un 250% más que en el año 1999, como se observa en el gráfico 2.

Gráfico 1. Superficie Edificada Valle de Azapa 1999-2019



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 2. Superficie Edificada Proyectada Valle de Azapa 1999-2040

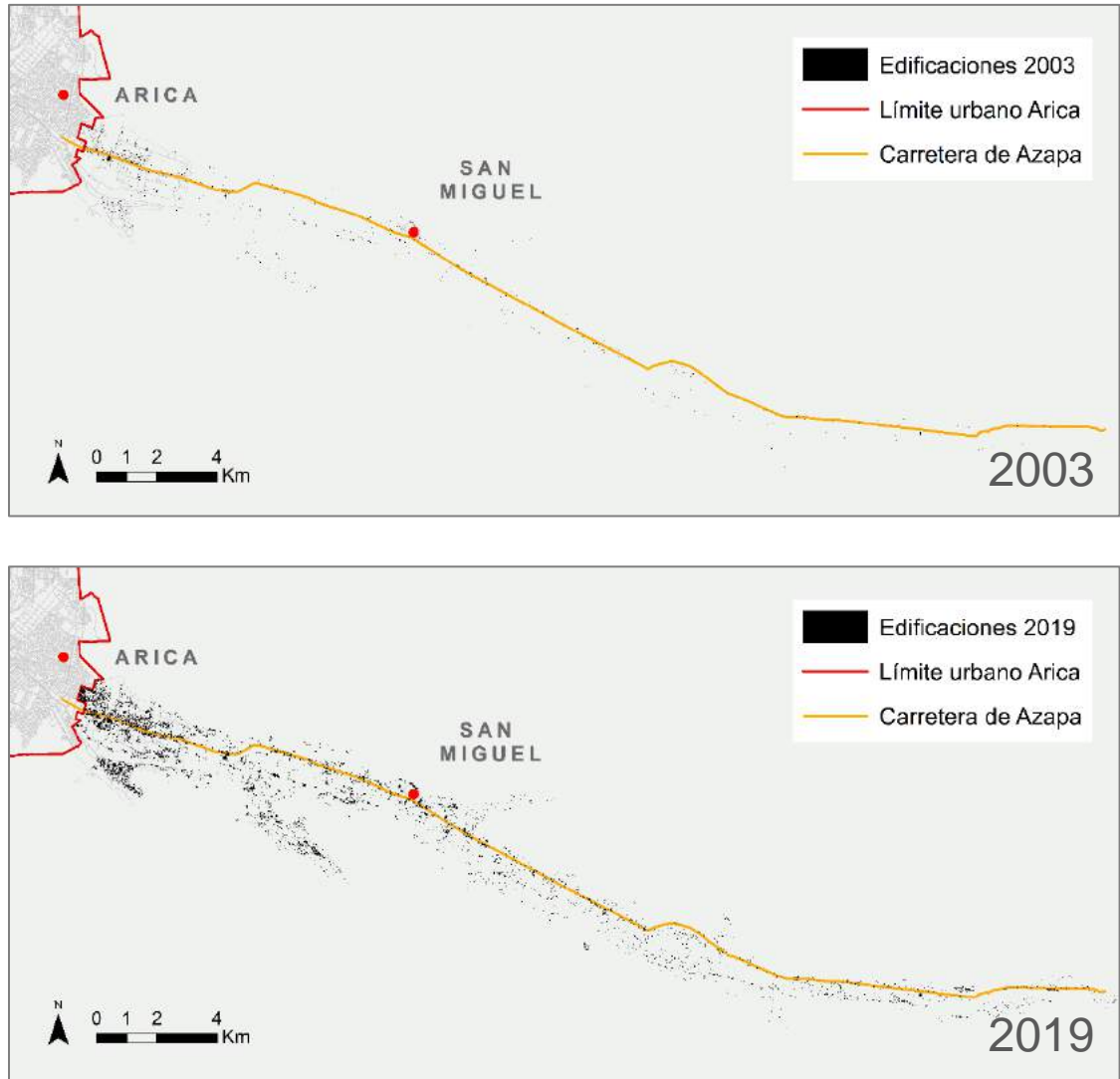


Fuente: Elaboración propia

Desde el punto de vista espacial, las edificaciones se concentran en la entrada principal de Azapa y cerro Sombrero, lugares más próximos a la ciudad de Arica, y tienen a disminuir a medida que se adentra en el valle. Se observa una densidad y crecimiento diferenciado desde San Miguel al poniente (Azapa medio-bajo), donde es mayor, y hacia el oriente (Azapa alto), donde es menor (ver figura 8, 9 y 10).

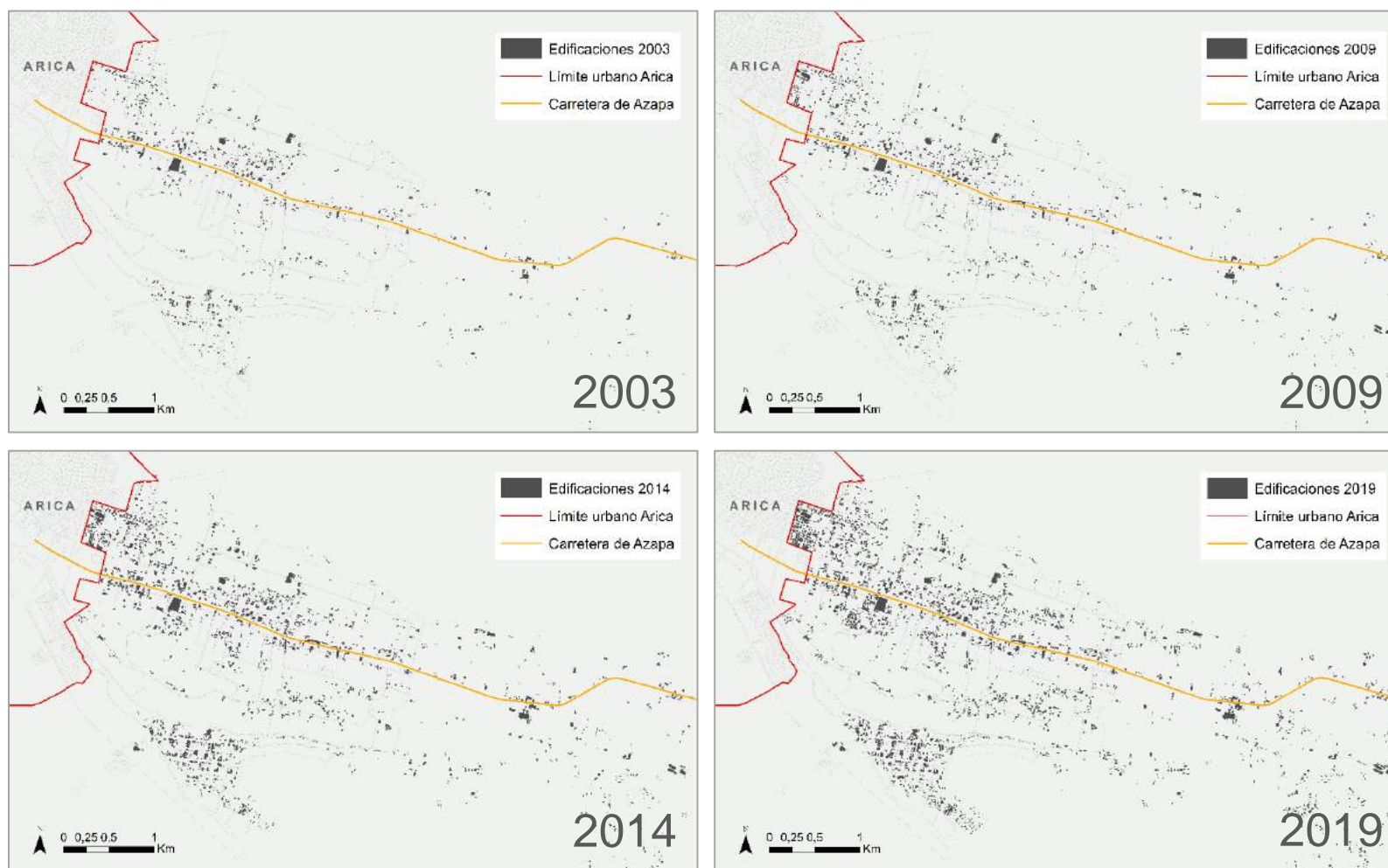
Lo anterior, parece responder a la forma de producir, consumir y en términos generales, de pensar de la sociedad capitalista actual, que busca no desligarse completamente de lo urbano, dado que ahí encuentra los recursos económicos y bienes que posibilitan lo que se entiende como “buena calidad de vida”, pero paradójicamente, no encuentra el “entorno” que la complementa, entendido como aquel que se vincula con naturaleza, en particular con la vegetación, y que en este caso sí proporciona el valle, sobre todo en la ciudad de Arica, donde lo “verde” es escaso.

Figura 8. Expansión urbana Valle de Azapa



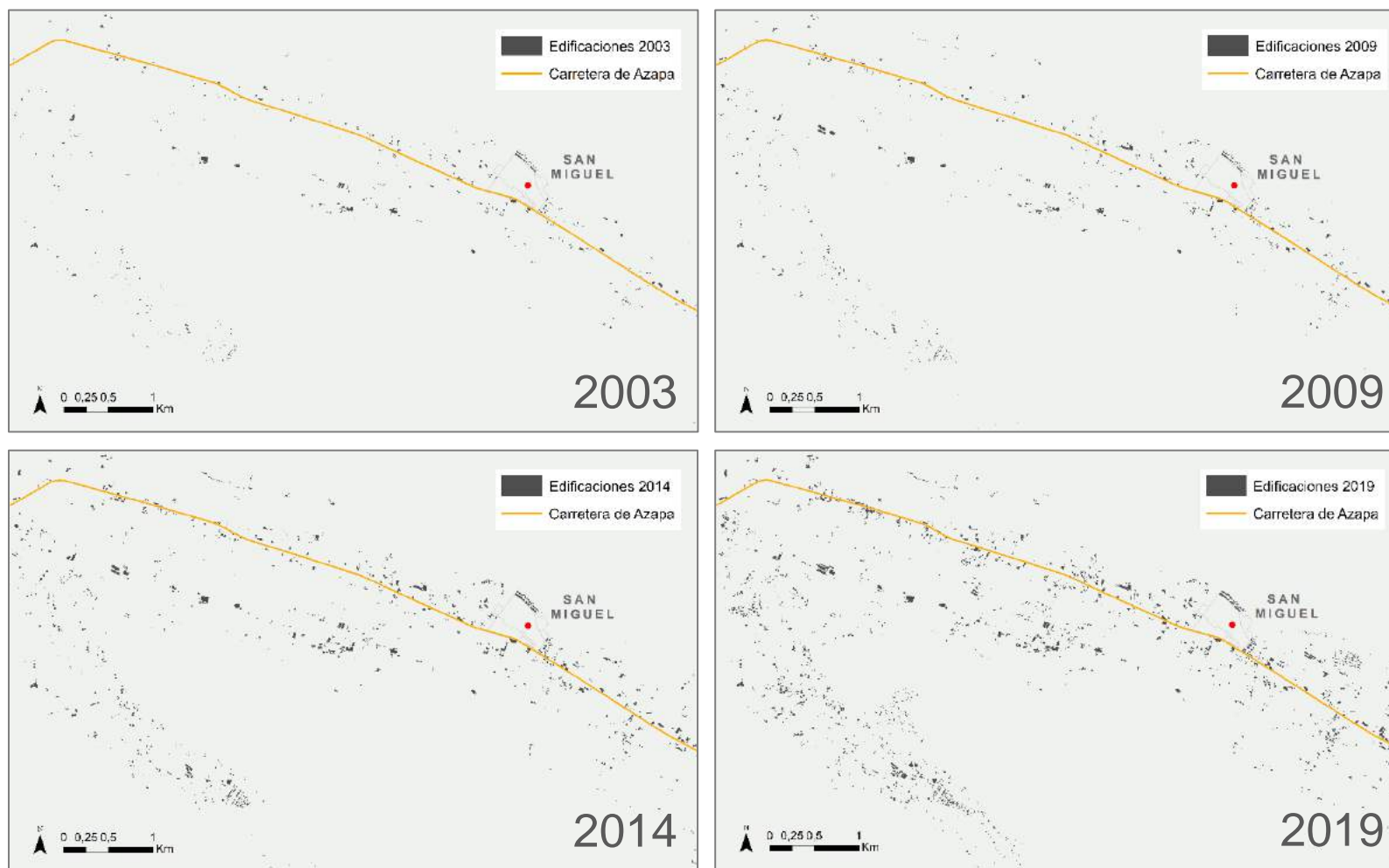
Fuente: Elaboración propia

Figura 9. Expansión urbana Sector Bajo Valle de Azapa



Fuente: Elaboración propia

Figura 10. Expansión Urbana Sector Medio Valle de Azapa



Fuente: Elaboración propia

En respuesta a esta percepción actual de “calidad de vida”, que viene acompañada de la idea de “estatus”, sumado a la escasez de lugares verdes en la región; comienzan a manifestarse en el Valle de Azapa distintas maneras de habitar el territorio, dando las primeras luces de segregación socio-territorial.

Por una parte, se evidencia una proliferación de parcelas de agrado de 5.000 m² en los primeros kilómetros del valle, en algunos casos formando exclusivos condominios, que se caracterizan por poseer grandes edificaciones, piscinas, quinchos, y áreas recreacionales. Este tipo de vivienda se ha convertido en la más apetecida por la población que migra hacia el valle, lo que ha significado un incremento considerable de precios durante los últimos años. Actualmente un terreno de ½ hectárea, sin edificaciones, alcanza un valor promedio de 150 millones de pesos chilenos, un terreno con edificación supera los 500 millones de pesos y los arriendos de casas con dichas características, bordean el millón de pesos mensual.

El alto costo de este tipo de viviendas, ha propiciado una segunda manera de habitar el valle, relacionada con el loteo de terrenos con superficies menores a 5.000 m², en oposición a la normativa vigente para áreas rurales. Para tales efectos, se venden derechos y acciones, o se efectúa la venta a sociedades creadas exclusivamente para la adquisición de terreno, por un grupo de

personas. En consecuencia, se han formado verdaderas poblaciones en algunos sectores, por ejemplo, al sur del kilómetro 3 y norte del kilómetro 10 de Azapa.

Por último, se observa que en los sectores altos y periféricos del valle se ha establecido una serie de tomas no autorizadas, ocupando las laderas de los cerros, con suelos no aptos para el cultivo, para la actividad agrícola (figura 11). En términos generales, el mecanismo consiste en buscar lugares sin propietario, tomárselos, y posteriormente presentar un proyecto productivo a bienes nacionales que permita adquirir el terreno en un par de años.

De esta manera, el Valle de Azapa se ha ido configurando acorde a las actividades productivas y condiciones socio-económicas de la población.

Figura 11. Tomas no autorizadas en ladera de cerros



Fuente: Elaboración propia

5.3. Reconversión productiva Valle de Azapa

La reconversión productiva más significativa en el Valle de Azapa, se atribuye a la introducción de empresas de semillas que no sólo se diferencian de la agricultura tradicional en el modo de producción, sino que además en el tipo de productos, puesto que trabajan con organismos modificados genéticamente (OGM).

La legislación chilena indica que los semilleros de OGM deben ser declarados ante el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), con la finalidad de que este organismo pueda velar por el cumplimiento de las medidas de bioseguridad exigidas.

Las declaraciones de cultivos OGM efectuadas para el Valle de Azapa, muestran que entre el año 2009 y 2019, se ha ocupado una superficie anual promedio de 37,42 hectáreas en producción de semillas, y que ésta ha tendido a disminuir con el tiempo. Se observa que las temporadas más significativas fueron 2009-2010 y 2010-2011 con 68,42 y 71,95 hectáreas respectivamente; por el contrario, la temporada 2018-2019 fue la que presentó menor superficie declarada para este uso, con 7,6 hectáreas.

Un punto importante a considerar en la curva de producción, es que la siembra de semillas transgénicas está regulada por la demanda del mercado internacional. Chile abastece principalmente a países del hemisferio norte como Estados Unidos y Canadá, por lo que la producción de semillas dependerá de la temporada agrícola de dichos países a contra estación.

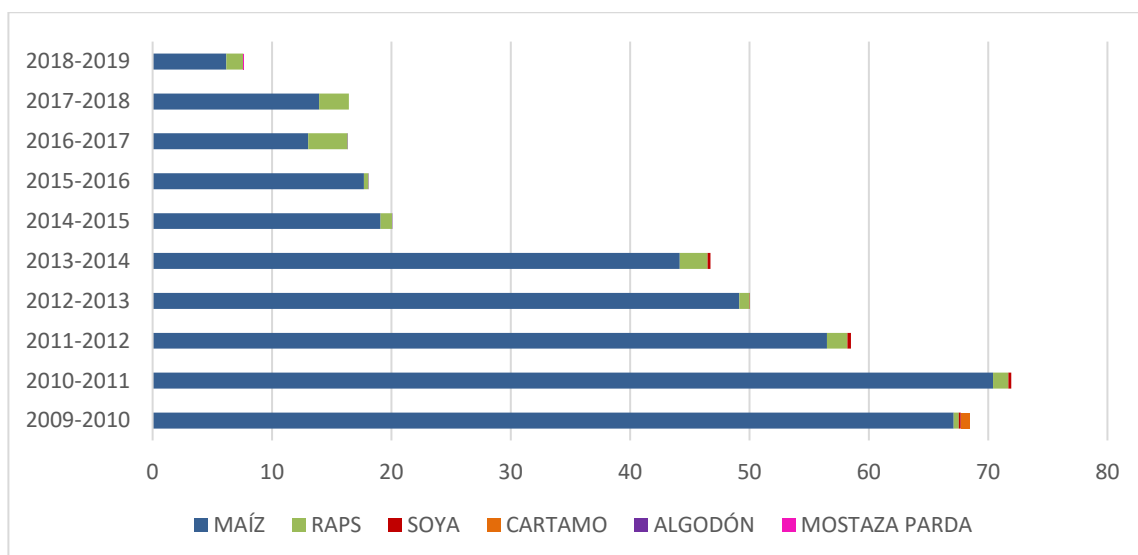
Por otro lado, la principal especie de semillas que se produce en el valle es el maíz, seguido por raps, soya y otros tales como algodón, cártamo y mostaza parda (ver tabla 9 y gráfico 3).

Tabla 8. Superficie inscrita por semilleras para cultivo de transgénicos según especie

Temporada	Superficie por especie (ha)				Superficie total (ha)
	Maíz	Raps	Soya	Otro	
2009 – 2010	67,12	0,43	0,17	0,7	68,42
2010 – 2011	70,42	1,29	0,24	0	71,95
2011 – 2012	56,51	1,70	0,30	0	58,51
2012 – 2013	49,15	0,86	0,03	0	50,04
2013 – 2014	44,17	2,33	0,24	0	46,74
2014 – 2015	19,09	0,97	0	0,01	20,07
2015 – 2016	17,69	0,39	0	0,02	18,10
2016 – 2017	13,03	3,31	0	0,02	16,36
2017 – 2018	13,94	2,50	0	0	16,44
2018 – 2019	6,18	1,38	0,02	0,02	7,60

Fuente: Elaboración propia en base a inscripción de cultivos SAG

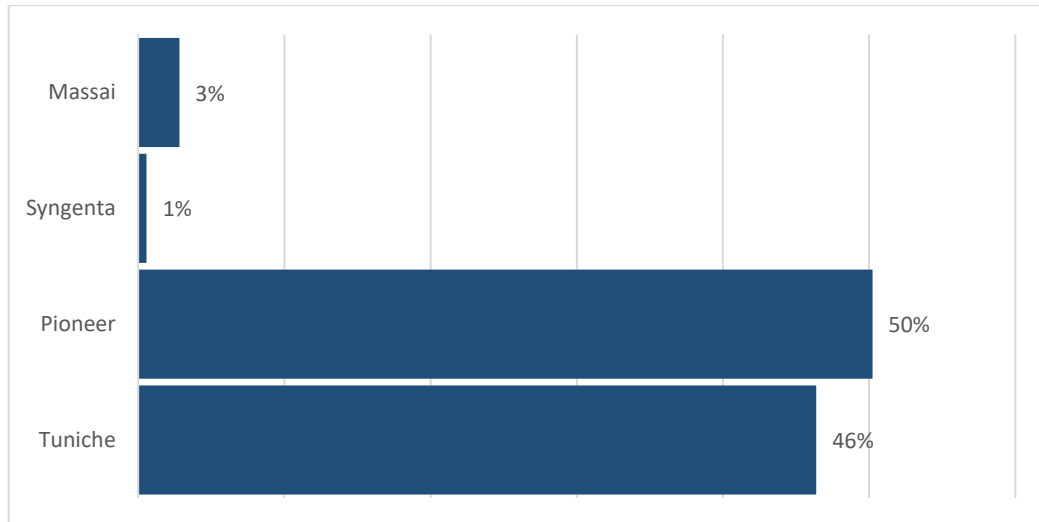
Gráfico 3. Superficie inscrita por semilleras para cultivo de transgénicos según especie



Fuente: Elaboración propia en base a inscripción de cultivos SAG

En el Valle de Azapa la ocupación de tierras para cultivos de semillas transgénicas, según la base de datos del SAG entre los años 2009 y 2019, es efectuada por 4 empresas: Pioneer, Tuniche, Massai y Syngenta. Las dos primeras representan el 96% de las superficies declaradas, mientras que el 4% restante lo compone las dos últimas, como se muestra en el gráfico 4. Cabe señalar que Tuniche registra declaraciones en todo el periodo en estudio, a diferencia de las demás empresas que no registran cultivos OMG en algunas temporadas.

Gráfico 4. Superficie de semillas OMG presentes en el Valle de Azapa 2009 - 2019

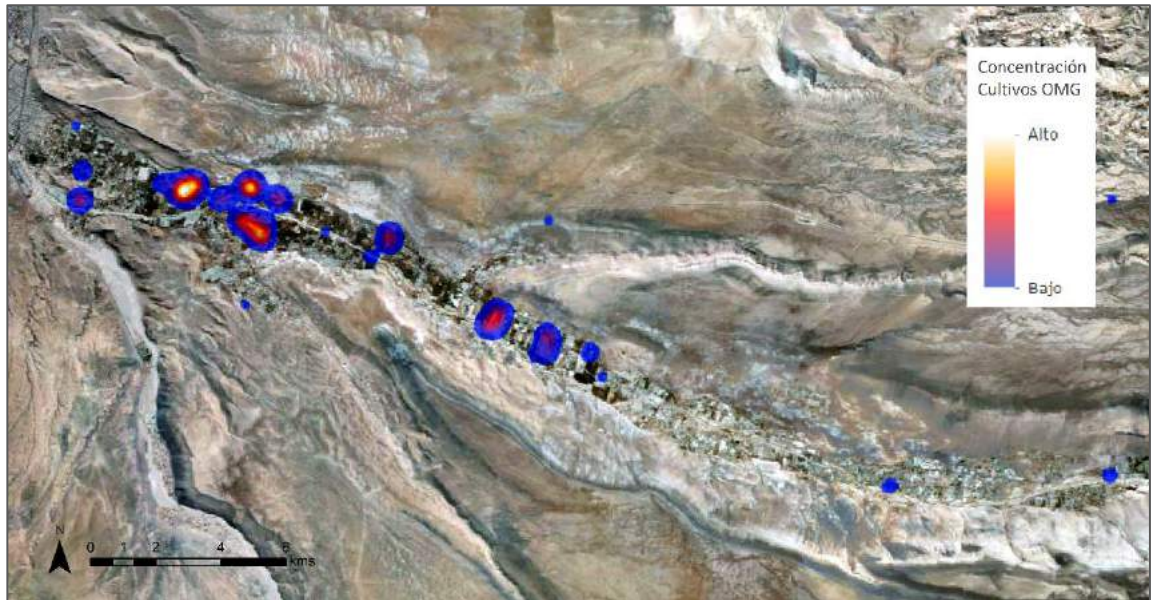


Fuente: Elaboración propia en base a inscripción de cultivos SAG

En cuanto a la distribución de los cultivos de semillas OMG en el Valle de Azapa, las coordenadas declaradas entre los años 2009 y 2019 se concentran principalmente en el sector bajo y medio del valle de Azapa.

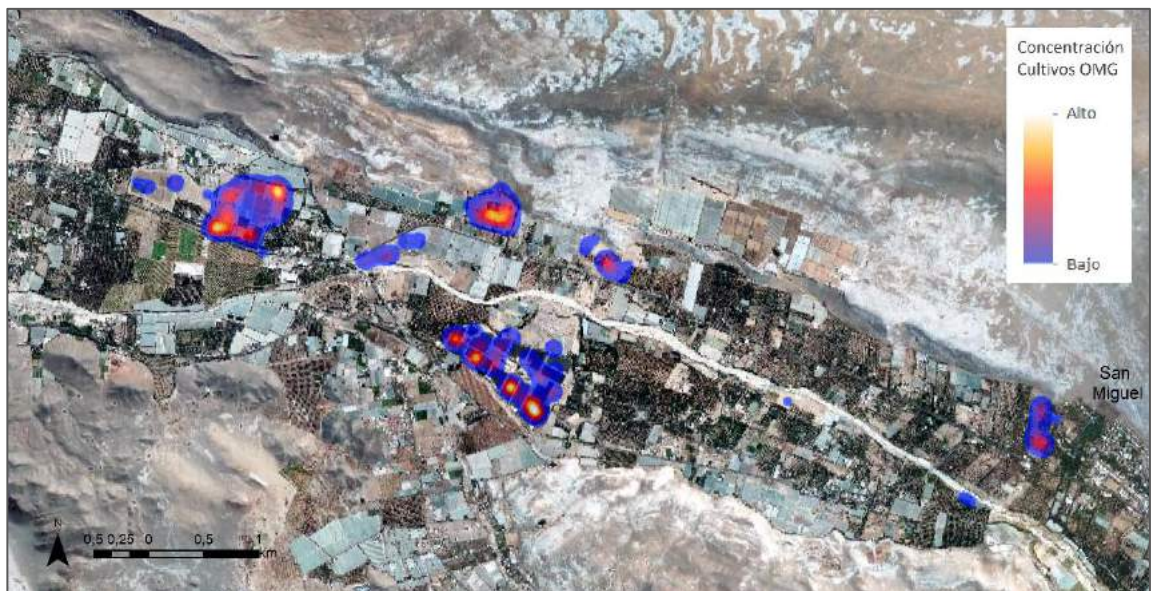
En el sector bajo-medio destacan 3 sectores: sector Pago de Gómez Norte en el kilómetro 4, sector sur del kilómetro 8 ocupados por la empresa de semillas Tuniche, y el sector de Alto Ramírez donde se localiza la empresa Pioneer. En la parte alta del valle, se observa una concentración de cultivos entre los kilómetros 17 y 20 del valle aproximadamente, donde se encuentran las instalaciones de semillas Syngenta (ver figura 12 y 13).

Figura 12. Concentración de cultivos de semillas OMG, Valle de Azapa 2009 – 2019



Fuente: Elaboración propia

Figura 13. Concentración de cultivos de semillas OMG, Azapa bajo y medio 2009 – 2019



Fuente: Elaboración propia

5.4. Impactos en los servicios ecosistémicos de los suelos del Valle de Azapa

Los servicios ecosistémicos, de acuerdo a la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA, 2005), son el resultado de diferentes procesos estructurantes que actúan en cadena. Por lo tanto, se requiere asegurar el adecuado funcionamiento de los ecosistemas basales para la generación de servicios ecosistémicos que repercutirán directamente en el bienestar humano.

En este sentido, y considerando la clasificación de la CICES que agrupa los servicios ecosistémicos en SE de soporte y SE finales, el suelo del Valle de Azapa se constituye como un ecosistema de sustento, estructurante del sistema cuenca, debido a que sus procesos internos, químicos, físicos y biológicos, posibilitan la generación de servicios ecosistémicos finales, tales como la regulación climática (temperatura superficial, humedad relativa, dirección de vientos), regulación del balance hídrico (impermeabilidad, recarga de acuíferos), producción de biomasa vegetal (filtro de contaminantes, control de plagas), abastecimiento de alimentos (tanto para el ser humano como para animales y fauna silvestre), abastecimiento de materias primas (madera, algodón), creación de hábitat para distintas especies (entre ellas especies nativas), recursos hídricos para la ciudadanía, además de servicios de carácter más culturales como de identidad (un territorio en el que se desarrollan una serie de festividades, que tiene historia), paisaje, entre otros.

Para los fines del presente estudio, se evaluó el impacto de las dinámicas de expansión urbana y reconversión productiva en los servicios ecosistémicos finales de regulación en el Valle de Azapa: biomasa, humedad del suelo y temperatura superficial; y su repercusión en aquellos de provisión y culturales.

5.4.1. Biomasa

Los resultados del procesamiento de imágenes satelitales, indican que el índice normalizado de diferencias de vegetación en el Valle de Azapa, ha tenido un comportamiento constante entre los años 1997 y 2019. Se observa que el promedio de NDVI, no varió significativamente durante ese periodo, teniendo una media de -0,6 y desviación estándar de 0,05. Los valores mínimos (media de -0,20) y máximos (media de 0,65), presentan mayor variación en los distintos años, registrándose el valor mínimo más bajo el año 2006 (-0,42) mientras que el valor mínimo el año 2018 (0), y el más alto el año 2012 (0,86) en contraste con el valor máximo más bajo que corresponde al año 2003 (0,53), como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 9. Índice Normalizado de Diferencias de Vegetación. Valle de Azapa 1997– 2019

Año	Min	Max	Media	Desv. Estándar
1997	-0,3	0,57	0,07	0,05
1998	-0,09	0,68	0,08	0,05
1999	-0,17	0,63	0,05	0,06
2000	-0,1	0,59	0,03	0,05
2001	-0,1	0,59	0,03	0,05
2002	-0,04	0,58	0,04	0,05
2003	-0,15	0,53	0,03	0,05
2004	-0,39	0,58	0,05	0,05
2005	-0,23	0,58	0,05	0,05
2006	-0,42	0,57	0,05	0,05
2007	-0,09	0,6	0,05	0,05
2008	-0,17	0,57	0,05	0,05
2009	-0,24	0,68	0,06	0,05
2010	-0,05	0,56	0,05	0,05
2011	-0,41	0,62	0,04	0,05
2012	-0,27	0,86	0,09	0,06
2013	-0,37	0,85	0,09	0,06
2014	-0,17	0,8	0,1	0,06
2015	-0,23	0,65	0,07	0,06
2016	-0,13	0,62	0,07	0,05
2017	-0,17	0,74	0,05	0,05
2018	0	0,68	0,1	0,05
2019	-0,29	0,74	0,02	0,06
Periodo 2009 – 2019	-0,20	0,65	0,06	0,05

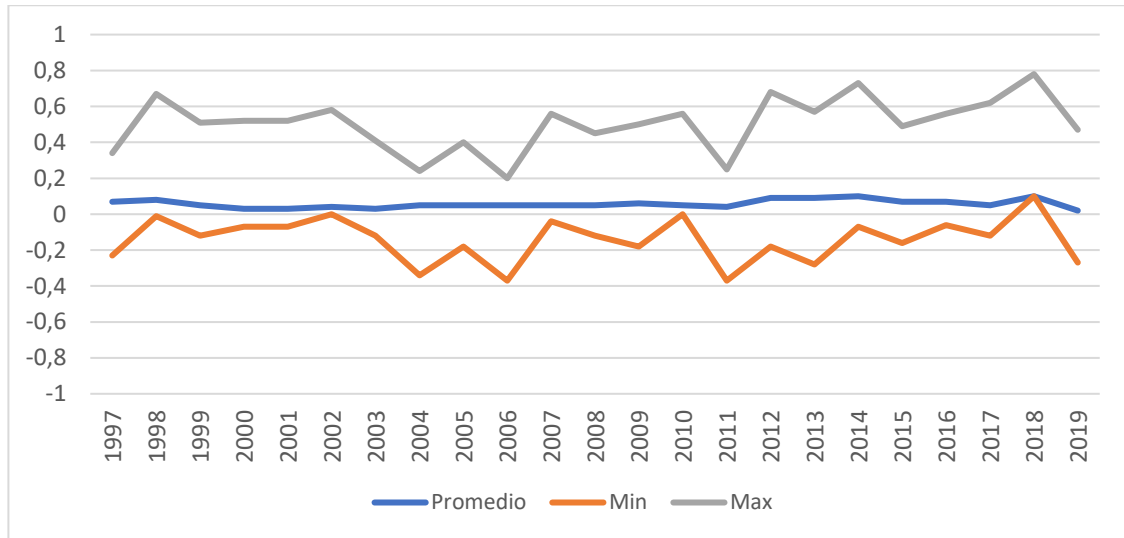
Fuente: Elaboración propia

Este comportamiento estable de la biomasa, deja en evidencia el equilibrio del cambio vegetacional observado durante los últimos años, mediante trabajo de campo y fotointerpretación, basado en la deforestación, plantación y reemplazo de cultivos a lo largo del valle.

Al graficar los datos obtenidos del NDVI, se observa con mayor claridad el comportamiento constante de los valores promedio y oscilante de los valores máximo y mínimos. Además, queda expuesta la relación directamente proporcional existente entre los valores máximos y mínimos, que difiere completamente del comportamiento de la media. Esta última, se encuentra más cercana a los valores mínimos registrados, incluso alcanzando el valor mínimo en el año 2018 (ver gráfico 5).

Ahora bien, respecto a estos datos es importante tener en cuenta que, dada las características climáticas de la región, existe una serie de cultivos que requieren la instalación de invernaderos para su óptimo desarrollo, como por ejemplo el tomate, que es uno de los principales productos del Valle de Azapa y, asimismo, las semillas son plantadas bajo condiciones controladas; por lo tanto, podría existir una alteración en los datos de NDVI a raíz de la reflectancia de los invernaderos, arrojando valores distintos a los de vegetación que, finalmente, son captados por los satélites.

Gráfico 5. Índice Normalizado de Diferencias de Vegetación. Valle de Azapa 1997– 2019



Fuente: Elaboración propia

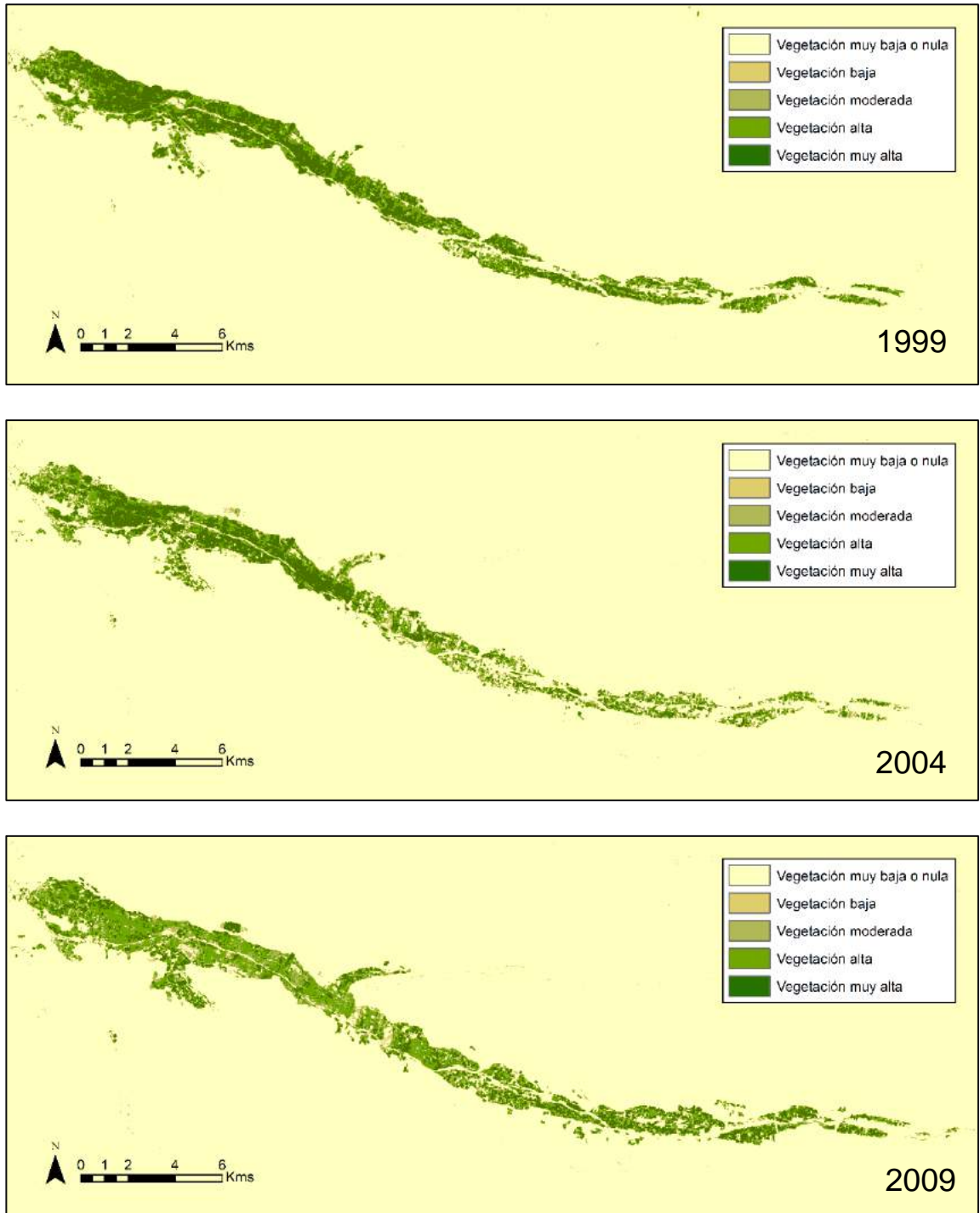
En cuanto a la distribución de la biomasa en el Valle de Azapa, se observa que el sector con mayor vegetación se encuentra en la parte baja y media del valle, es decir, desde la ciudad de Arica hasta el pueblo de San Miguel, lo que se puede atribuir a la baja disponibilidad y calidad de suelos presentes en la parte alta, que es más angosta, no obstante, esta situación no impide el aumento del asentamiento desde San Miguel hacia arriba. De la misma manera, existe una ampliación de sectores con vegetación en el valle, que da cuenta de la ocupación de las laderas de los cerros para uso agrícola (ver figura 14, 15 y 16).

Figura 14. Plantaciones en ladera sur del Valle de Azapa



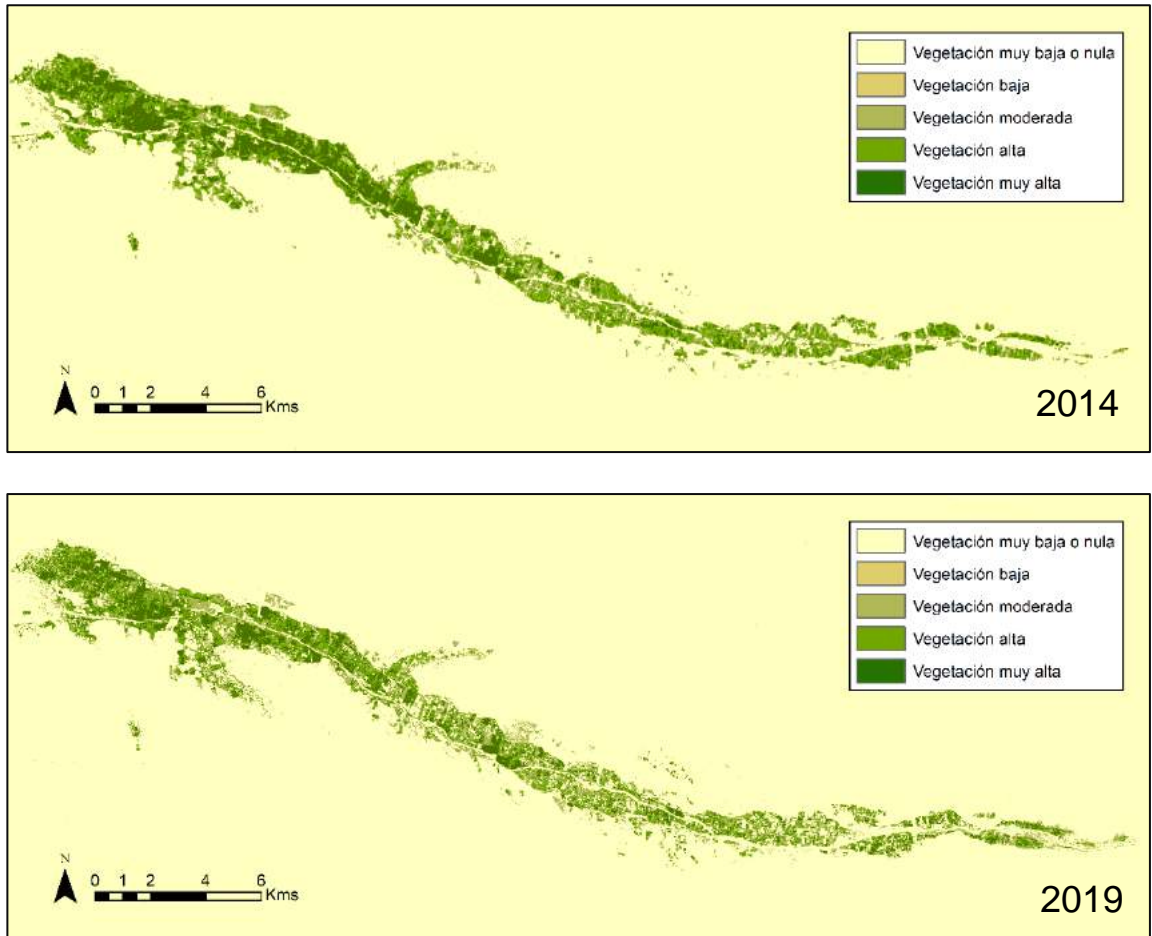
Fuente: Elaboración propia

Figura 15. Biomasa Valle de Azapa 1999 – 2004



Fuente: Elaboración propia

Figura 16. Biomasa Valle de Azapa 2009 – 2019



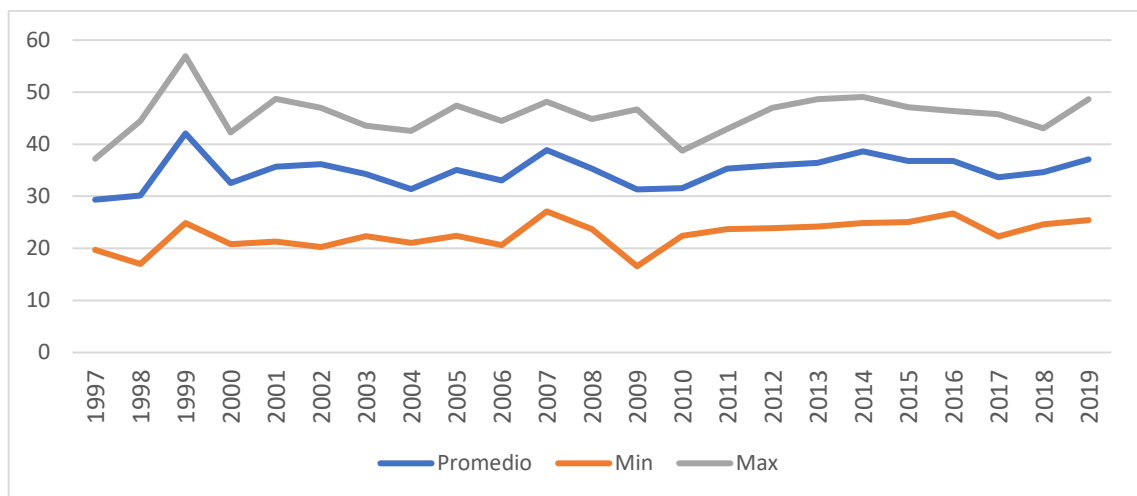
Fuente: Elaboración propia

5.4.2. Temperatura Superficial

La temperatura superficial del Valle de Azapa, de acuerdo al cálculo de LST, durante las últimas dos décadas presentó una media de 34,87C°. La temperatura mínima promedio fue de 22,64C° y la máxima de promedio de 45,72C°. Cabe señalar que los datos corresponden a los meses de verano, en virtud de la fecha de las imágenes utilizadas para el análisis (ver tabla 11).

El comportamiento de los valores dentro del periodo en estudio se mantiene constante, presentándose una pequeña tendencia al aumento desde el año 2009. Asimismo, se observa que entre los valores mínimos y existe una relación directa, puesto que aumentan y disminuyen siguiendo el mismo patrón (ver gráfico 6).

Gráfico 6. Temperatura superficial (C°). Valle de Azapa 1997– 2019



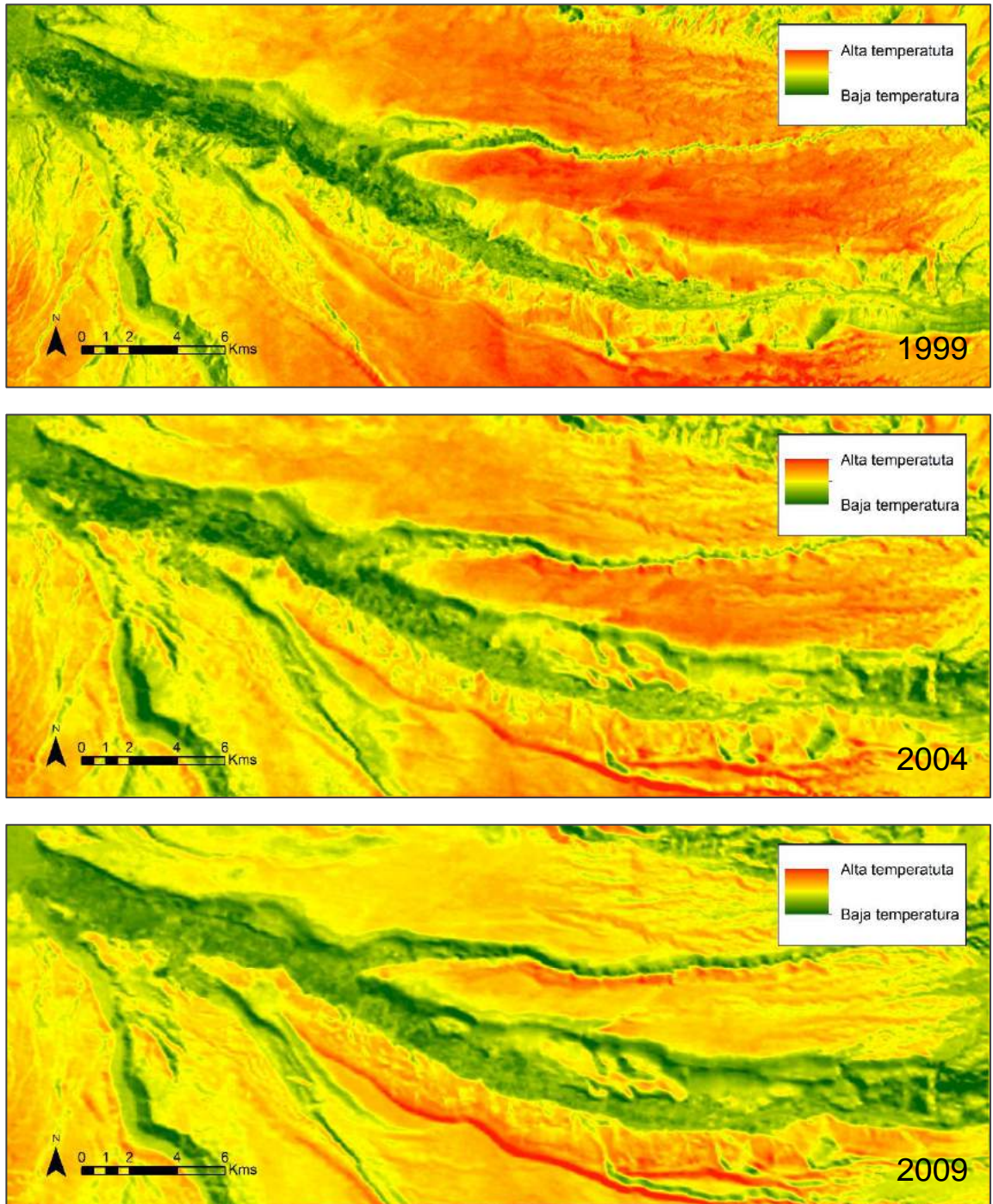
Fuente: Elaboración propia

Tabla 10. Temperatura Superficial (C°). Valle de Azapa 1997– 2019

Año	Min	Max	Media	Desv. Estándar
1997	19,73	37,22	29,34	2,24
1998	17,02	44,46	30,17	3,52
1999	24,87	56,9	42,08	4,3
2000	20,78	42,23	32,56	2,95
2001	21,3	48,69	35,69	3,72
2002	20,26	47	36,16	2,94
2003	22,33	43,55	34,24	2,51
2004	21,06	42,59	31,41	2,82
2005	22,38	47,4	35,06	3,58
2006	20,62	44,46	33,07	3,34
2007	27,1	48,13	38,88	3,1
2008	23,68	44,83	35,32	2,89
2009	16,56	46,67	31,33	4,07
2010	22,38	38,78	31,55	2,48
2011	23,68	42,96	35,32	2,9
2012	23,86	47	35,94	3,11
2013	24,18	48,63	36,42	3,68
2014	24,87	49,11	38,62	3,31
2015	25,04	47,11	36,82	3,23
2016	26,72	46,35	36,78	3,03
2017	22,3	45,75	33,65	3,43
2018	24,63	43,07	34,64	2,83
2019	25,43	48,68	37,07	3,54
Promedio 2009 - 2019	22,64	45,72	34,87	3,20

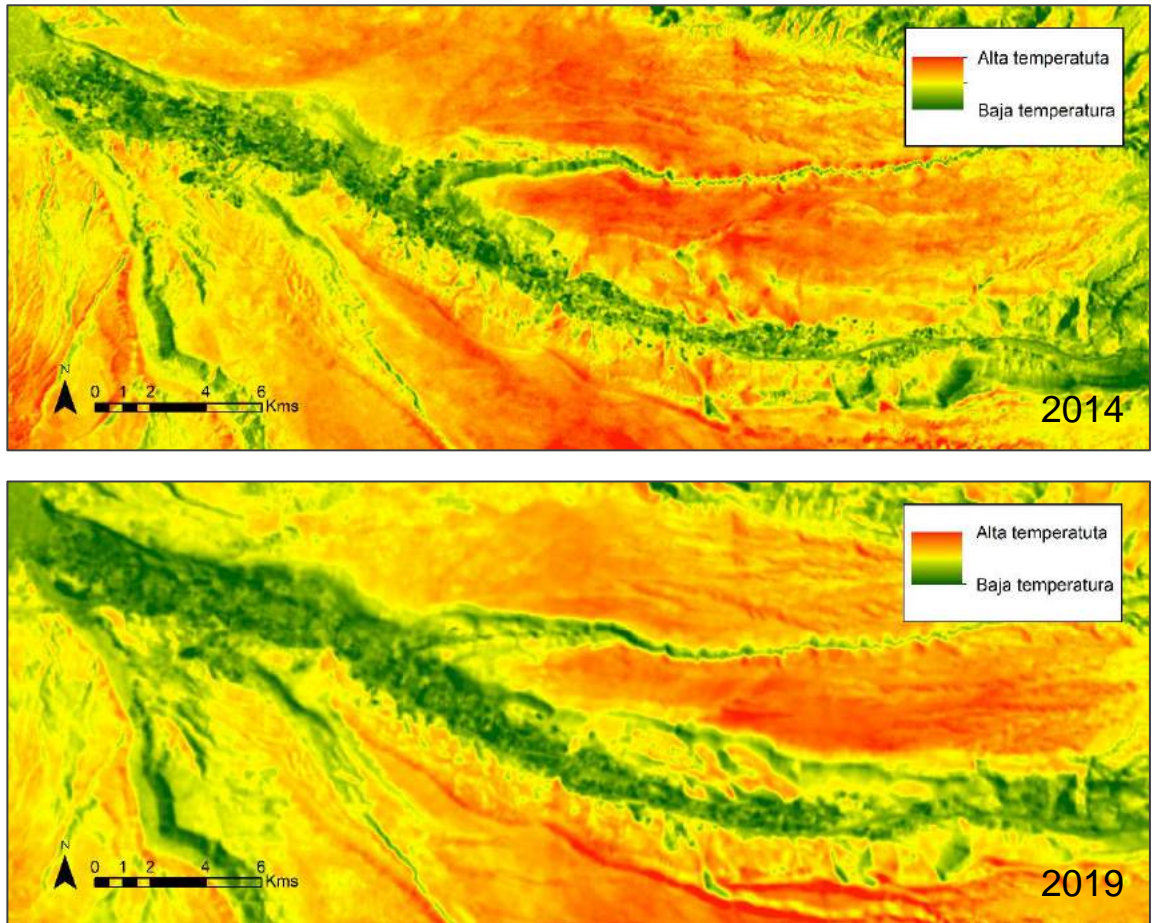
Fuente: Elaboración propia

Figura 17. Temperatura superficial. Valle de Azapa 1999 – 2004



Fuente: Elaboración propia

Figura 18. Temperatura superficial. Valle de Azapa 2014 – 2019



Fuente: Elaboración propia

5.4.3. Humedad del Suelo

La humedad de los suelos del Valle de Azapa, de acuerdo al índice normalizado de diferencias de agua (INWI), ha tenido una leve, casi nula tendencia al aumento durante los últimos 20 años. Presenta una media de -0,01, registrándose la más baja de -0,07 en el año 1997 y 2016, y la más alta de 0,04 en 2018.

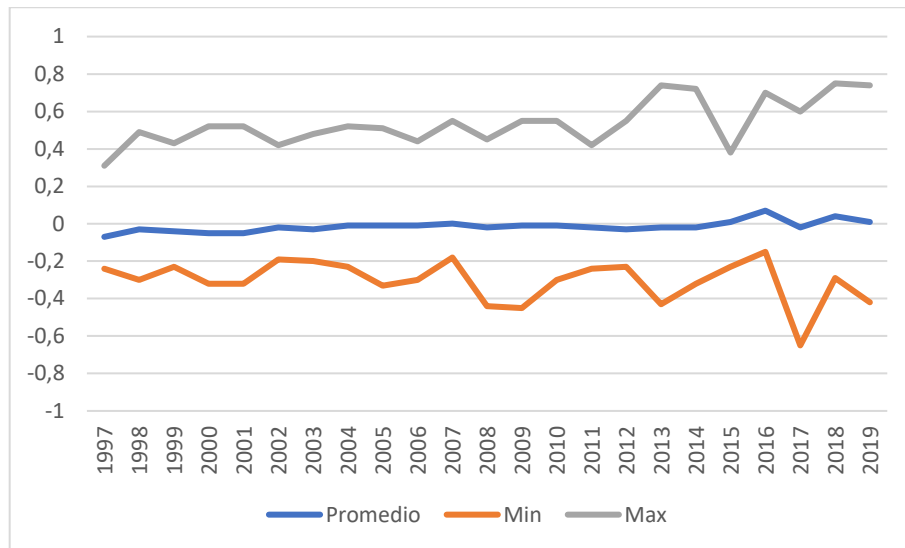
El valor mínimo promedio del periodo en estudio es de -0,30, siendo el más bajo de -0,65 (2007) y el más alto de -0,19 (2002). El valor máximo promedio es de 0,54, el más alto de 0,75 correspondiente al año 2018 y el más bajo de 0,31 del año 2007. Los valores máximos y mínimos, al igual que en el caso de la vegetación, evidencian una relación directa, sin embargo, en este caso es inversamente proporcional, es decir, que mientras más alto es el valor máximo de un año, más bajo será el valor mínimo, lo que explica el comportamiento constante del periodo. Se observa, además, que durante los primeros años estos valores presentan una tendencia lateral que cambia desde el año 2007, donde los valores mínimos y máximos comienzan a ser más extremos (gráfico 7).

Tabla 11. Índice Normalizado de Diferencias de Agua. Valle de Azapa 1997– 2019

Año	Min	Max	Media	Desv. Estándar
1997	-0,24	0,31	-0,07	0,04
1998	-0,3	0,49	-0,03	0,04
1999	-0,23	0,43	-0,04	0,04
2000	-0,32	0,52	-0,05	0,04
2001	-0,32	0,52	-0,05	0,04
2002	-0,19	0,42	-0,02	0,04
2003	-0,2	0,48	-0,03	0,04
2004	-0,23	0,52	-0,01	0,04
2005	-0,33	0,51	-0,01	0,04
2006	-0,3	0,44	-0,01	0,05
2007	-0,18	0,55	0	0,04
2008	-0,44	0,45	-0,02	0,04
2009	-0,45	0,55	-0,01	0,04
2010	-0,3	0,55	-0,01	0,04
2011	-0,24	0,42	-0,02	0,04
2012	-0,23	0,55	-0,03	0,04
2013	-0,43	0,74	-0,02	0,04
2014	-0,32	0,72	-0,02	0,04
2015	-0,23	0,38	0,01	0,05
2016	-0,15	0,7	0,07	0,06
2017	-0,65	0,6	-0,02	0,05
2018	-0,29	0,75	0,04	0,06
2019	-0,42	0,74	0,01	0,07
Periodo 2009 – 2019	-0,30	0,54	-0,01	0,04

Fuente: Elaboración propia

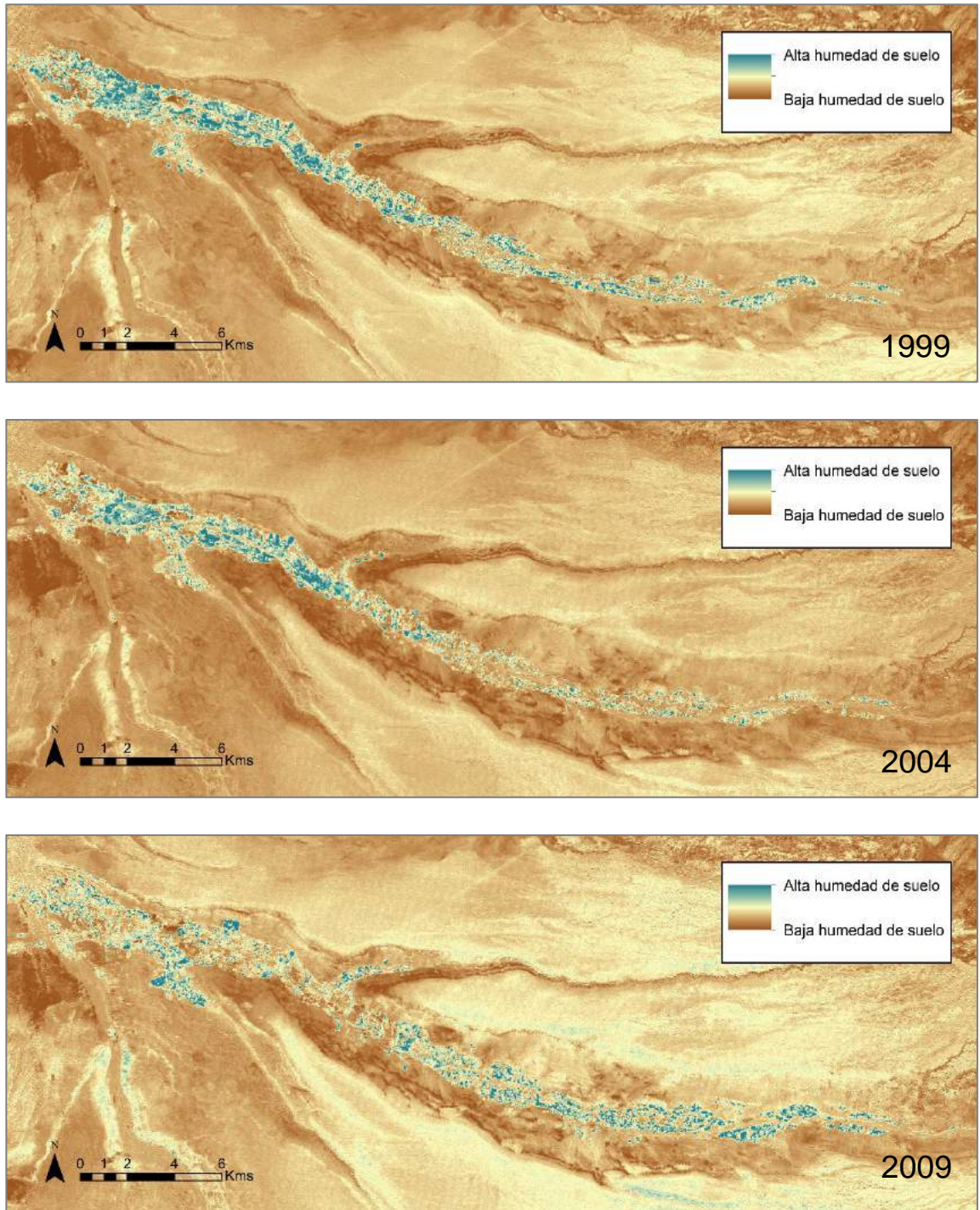
Gráfico 7. Índice Normalizado de Diferencias de Agua. Valle de Azapa 1997– 2019



Fuente: Elaboración propia

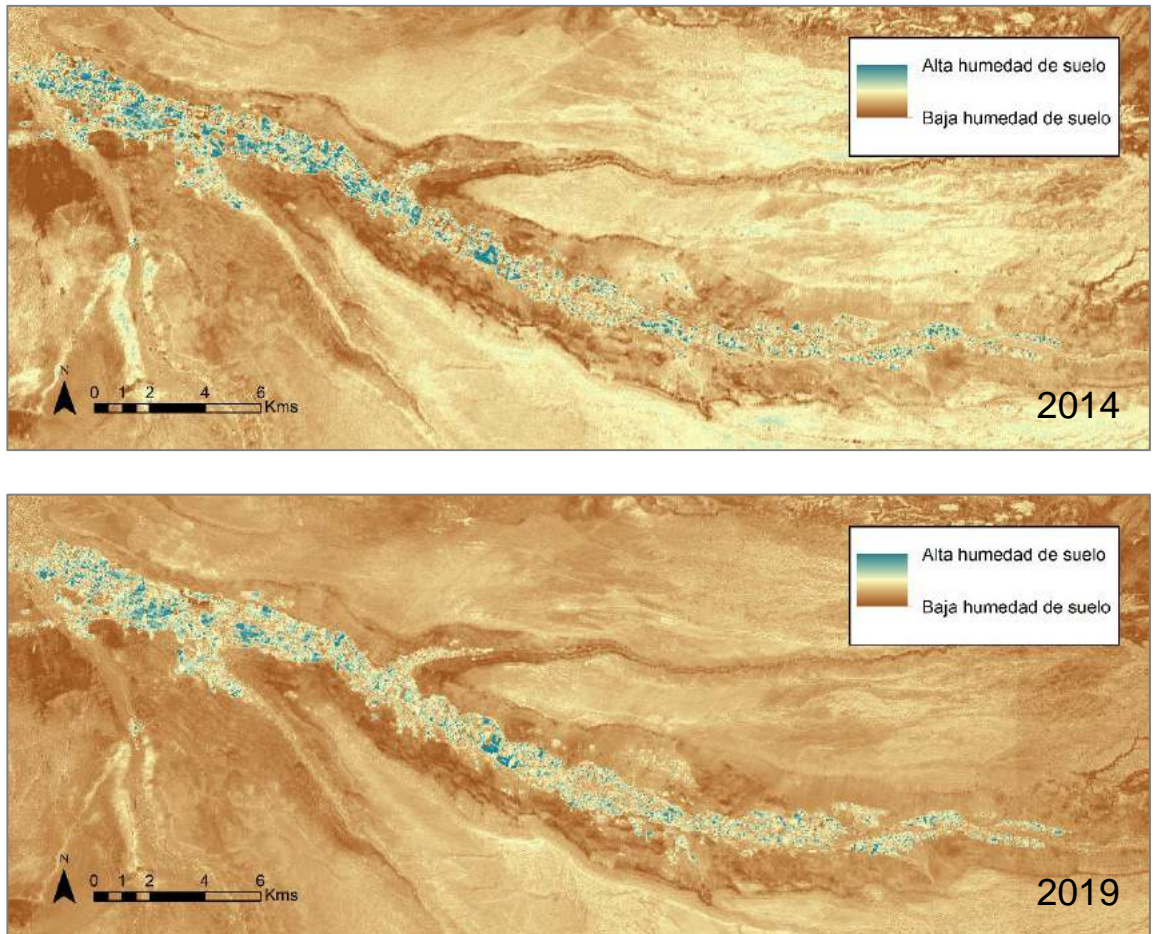
Al representar los datos en un mapa, se evidencia una situación similar a la que ocurre con la biomasa. Los sectores bajo y medio del Valle de Azapa son lo que presentan suelos mayor humedad, y en la medida que pasan los años, aparecen nuevos sectores húmedos hacia la ladera de los cerros (ver figura 19 y 20).

Figura 19. Humedad suelo Valle de Azapa 1999 – 2009



Fuente: Elaboración propia

Figura 20. Humedad suelo Valle de Azapa 2014 – 2019



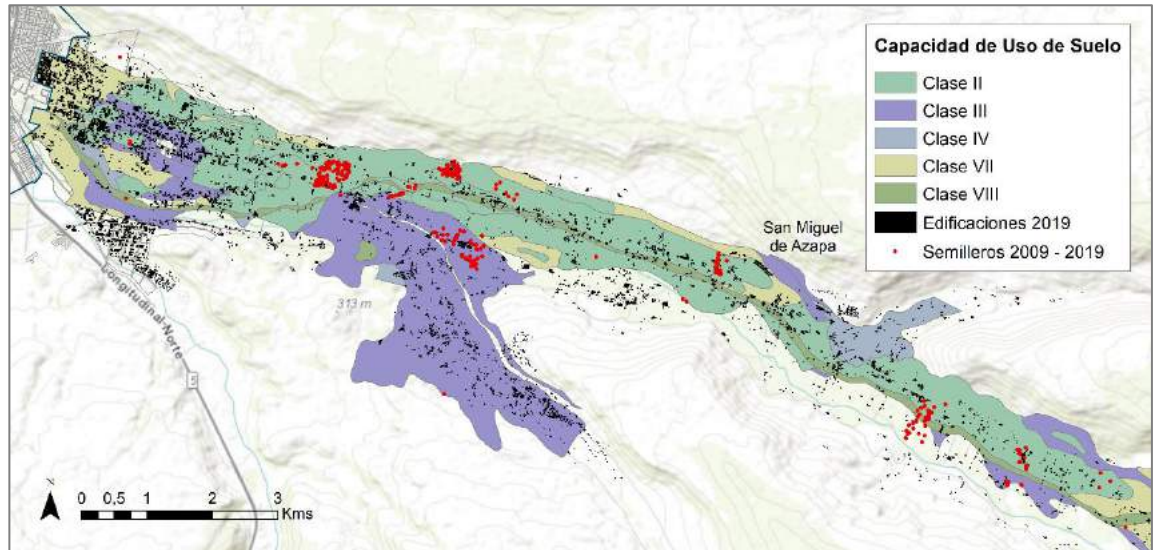
Fuente: Elaboración propia

5.4.4. Relación de variables

En las etapas previas se analizó cada una de las variables en estudio, con la finalidad de observar su comportamiento de manera independiente durante los últimos 20 años. Por un lado, se encuentran las variables externas, relacionadas con actividades antrópicas, que serían la expansión urbana y reconversión productiva y, por otro lado, las variables internas de la cuenca, asociadas a los procesos naturales que se desarrollan en ella, donde se encuentran las variables de biomasa, humedad de suelo y temperatura superficial. En el presente apartado se exponen los resultados del cruce de estas variables, indicando la existencia y grado de relación entre ellas.

El primer acercamiento al análisis integrado, deja en evidencia que las actividades antrópicas desarrolladas en la cuenca, utilizan los mejores suelos del valle en cuanto a su capacidad de uso, que vendrían siendo los suelos de clase II y clase III, como se puede apreciar en la figura 21. Sin embargo, esto no indica un inadecuado manejo del recurso suelo y, por ende, una afectación en los servicios ecosistémicos finales que presta.

Figura 21. Relación de variables con suelos según capacidad de uso



Fuente: Elaboración propia

En este sentido, toma protagonismo el coeficiente de correlación, el cual indica que efectivamente existe relación entre las variables internas y externas que interactúan en la cuenca. Dicha relación es distinta para cada variable, evidenciándose una correlación positiva con la expansión urbana y una correlación negativa con la reconversión productiva; es decir, que son directa e inversamente proporcional a las variables del suelo, respectivamente (ver tabla 13).

Tabla 12. Coeficiente de Correlación

Variables	Expansión Urbana		Reconversión Productiva	
	Coeficiente de Correlación	Tipo de correlación	Coeficiente de Correlación	Tipo de correlación
Biomasa	0,43	Correlación positiva moderada	-0,46	Correlación negativa moderada
Humedad suelo	0,61	Correlación positiva moderada	-0,53	Correlación negativa moderada
Temperatura superficial	-0,26	Correlación negativa baja	-0,58	Correlación negativa moderada

Fuente: Elaboración propia

Los coeficientes de correlación resultantes, indican que efectivamente existe relación entre las variables externas e internas, ya sea de manera positiva o negativa en una intensidad de moderada a baja. La variable externa de reconversión productiva, presenta una correlación negativa con las variables internas, a diferencia de la expansión urbana que presenta un tipo de correlación positiva, exceptuando la relación con la variable temperatura superficial. Si bien en la mayoría de los casos el grado de intensidad es moderado, la variable humedad de suelo, parece tener una vinculación más fuerte con las variables antrópicas.

5.4.4.1. Expansión urbana

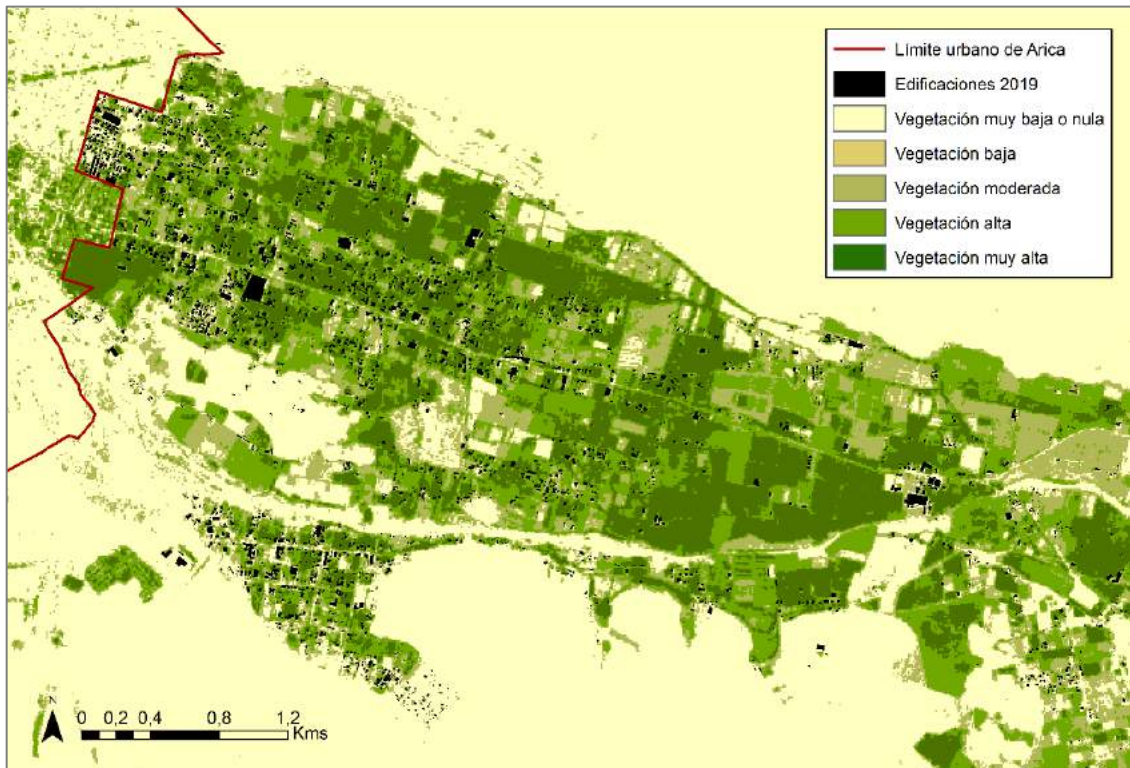
Expansión urbana – biomasa

Los resultados obtenidos del cruce de las variables expansión urbana con biomasa, indican que existe una correlación positiva moderada de 0,43 entre ambas, lo que significa que en la medida que se evidencia un aumento de superficie edificada, también se evidencia un aumento en el vigor de la vegetación.

Por otro lado, al superponer los resultados en el terreno, es posible observar que la proliferación de edificaciones tiene lugar principalmente en la parte baja del valle, sector en el que la biomasa presenta los mejores índices de vegetación (ver figura 22).

Lo anterior se puede explicar, de acuerdo a lo constatado en terreno y por fotointerpretación, por la creciente plantación de frutales en parcelas de agrado, que si bien no tienen un fin productivo, sino más bien paisajístico, contribuye con el aumento de biomasa en el sector.

Figura 22. Relación expansión urbana - biomasa. Valle de Azapa Bajo 2019

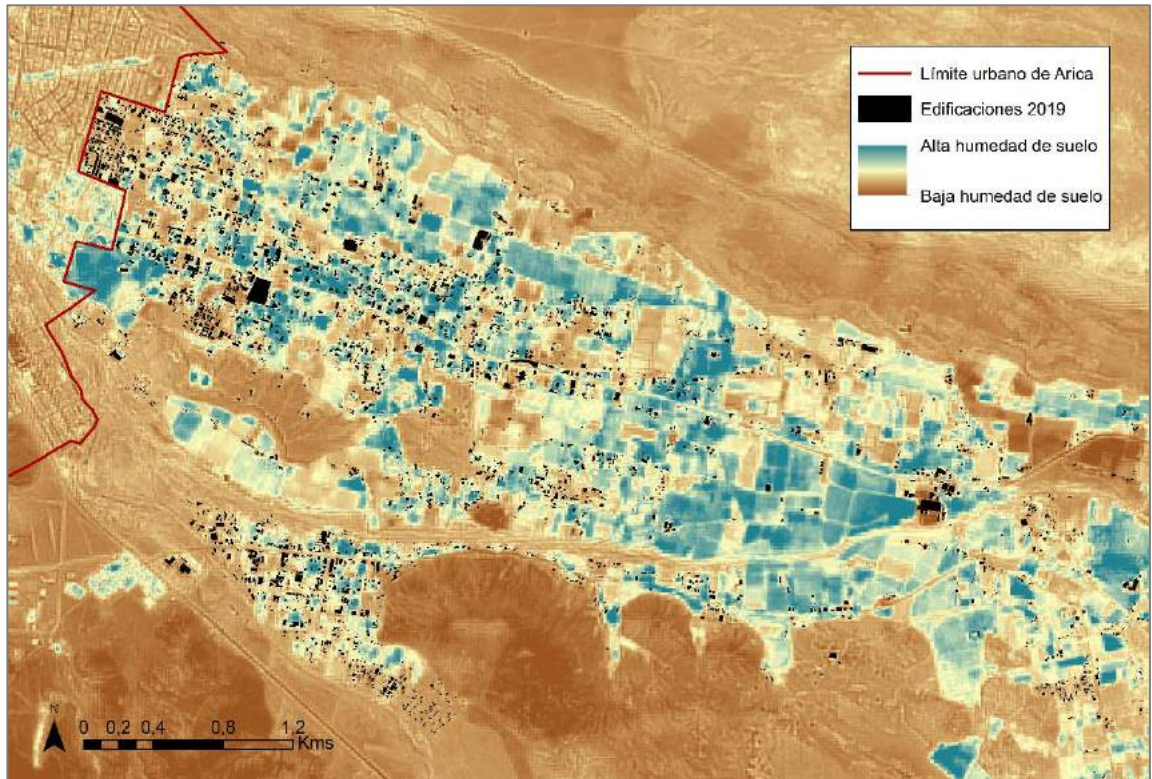


Fuente: Elaboración propia

Expansión urbana – humedad de suelo

Al relacionar la variable de expansión urbana con la humedad del suelo, se obtuvo un valor de 0,61, que indica una correlación positiva moderada, es decir, directamente proporcional. Del mismo modo como ocurre con la biomasa, la expansión urbana ha ido ocupando la porción del valle con mayor humedad, es decir la parte baja, hasta el kilómetro 6 aproximadamente y, por el contrario, a menor escala, se evidencia que el emplazamiento de las edificaciones coincide con los sectores menos húmedos (ver figura 23).

Figura 23. Relación expansión urbana - humedad de suelo. Valle de Azapa Bajo 2019

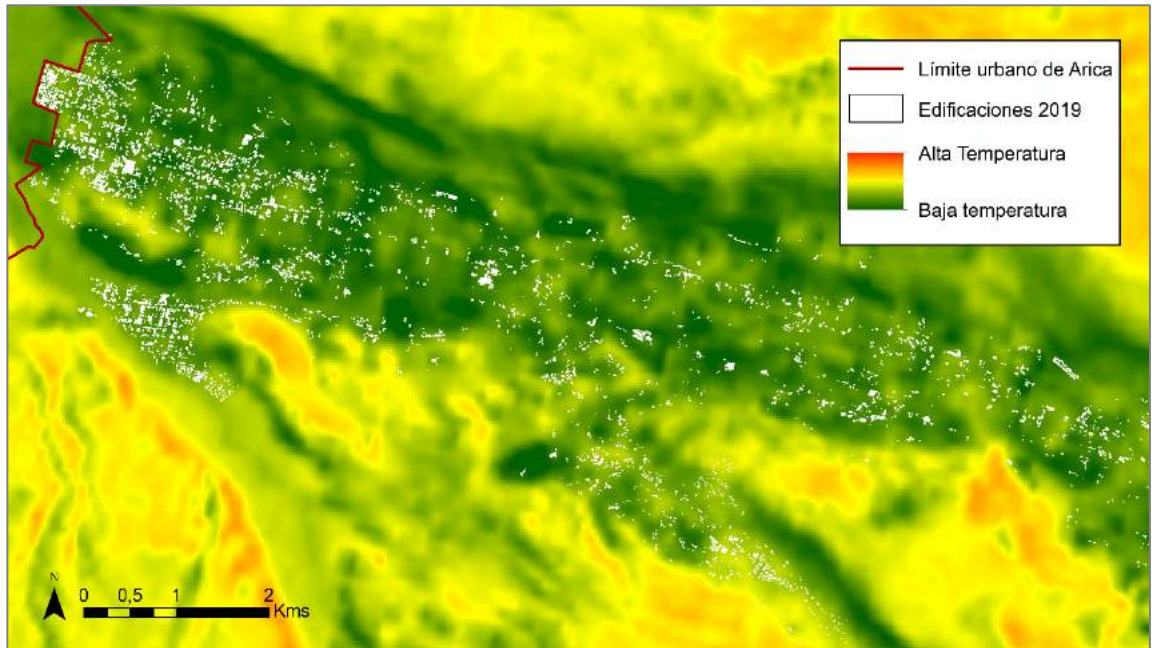


Fuente: Elaboración propia

Expansión urbana – temperatura superficial

La temperatura superficial, es la variable interna de relación más débil con la variable externa de expansión urbana, registrando un coeficiente de $-0,26$, que se traduce como una correlación negativa baja. No obstante, es posible notar que la expansión urbana se lleva a cabo en el sector con temperaturas más bajas del valle, que oscilan entre los 25°C y 30°C .

Figura 24. Relación expansión urbana - temperatura superficial. Valle de Azapa Bajo



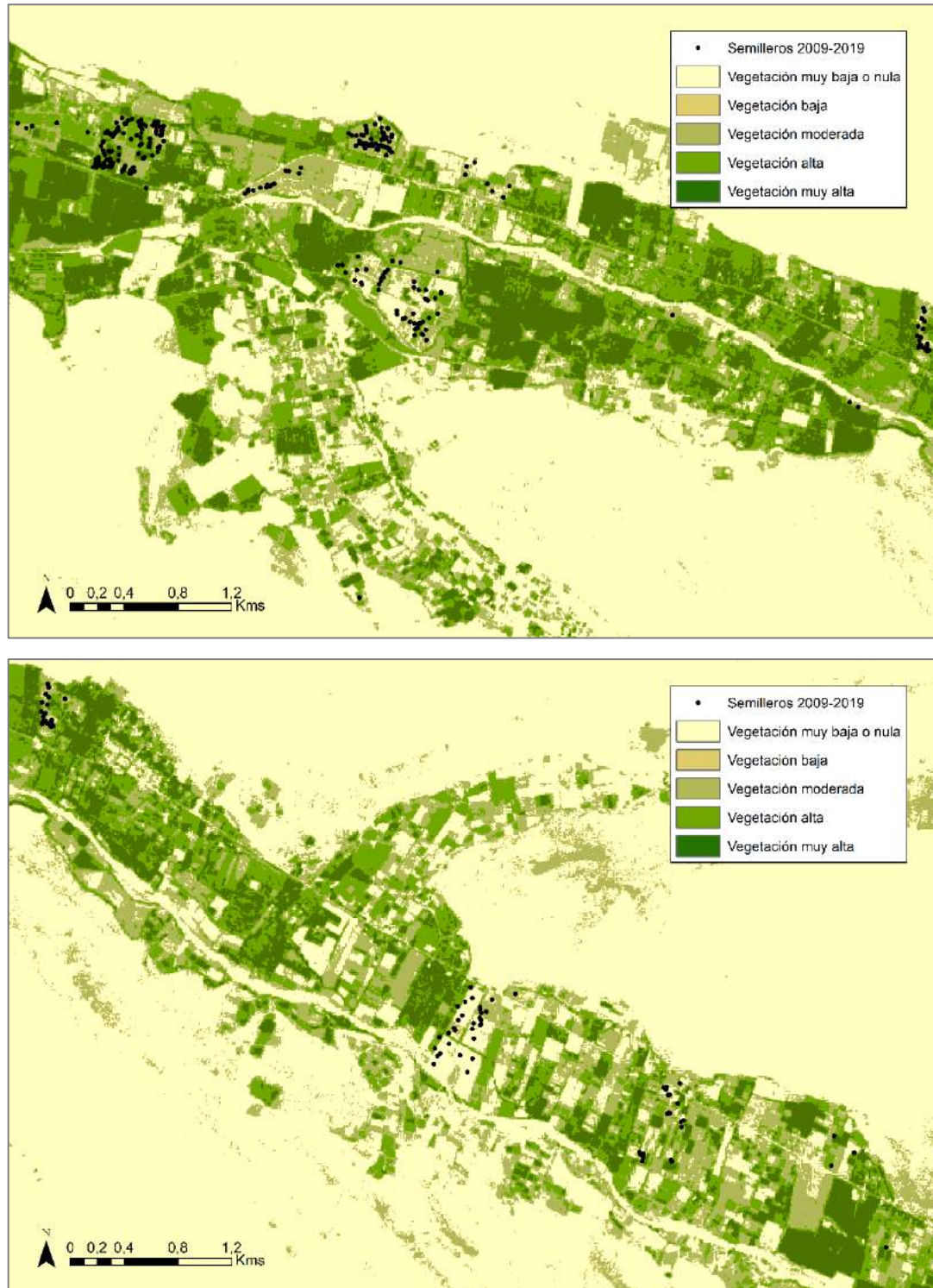
Fuente: Elaboración propia

5.4.4.1. Reconversión productiva

Reconversión productiva – biomasa

Las variables reconversión productiva y biomasa, presentan una correlación moderada negativa, con un coeficiente de $-0,46$, es decir, en la medida que la superficie de cultivos disminuye, el vigor de la vegetación aumenta en el valle. Al superponer las inscripciones de semilleros con la biomasa, se observa que en algunos sectores los puntos georreferenciados coinciden con una muy baja o nula vegetación y en otros – con una vegetación moderada o alta, lo que podría explicarse por los ciclos agrícolas que requiere el cultivo de semillas.

Figura 25. Relación reconversión productiva - biomasa. Valle de Azapa Bajo Medio

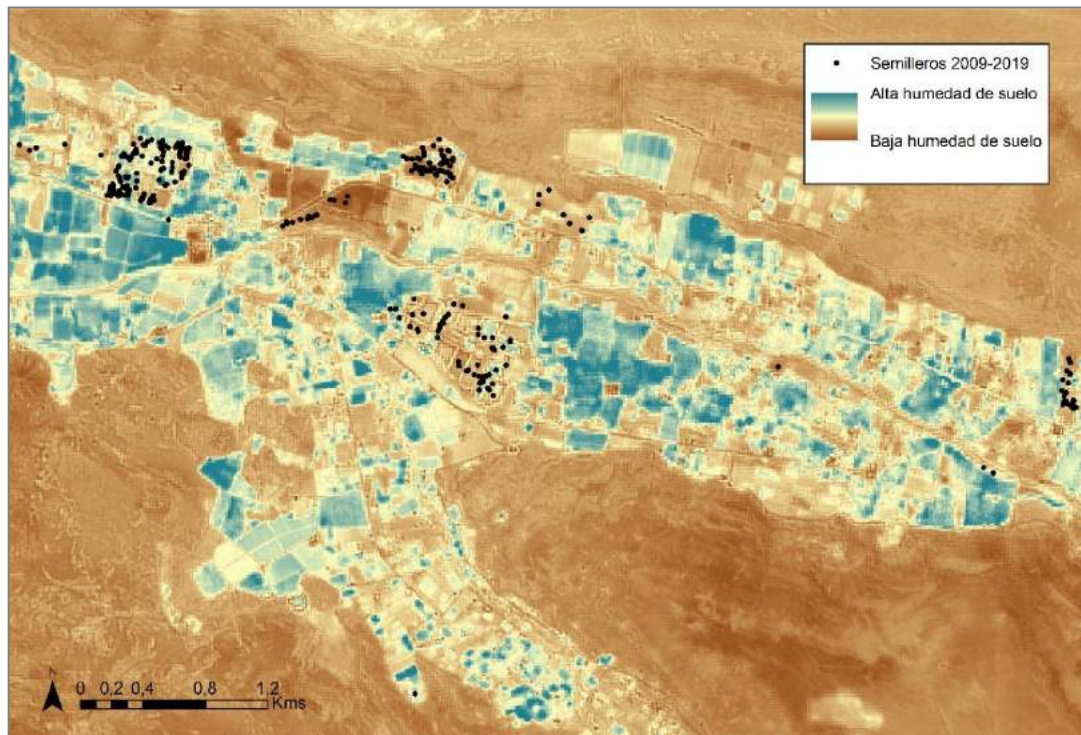


Fuente: Elaboración propia

Reconversión productiva – humedad de suelo

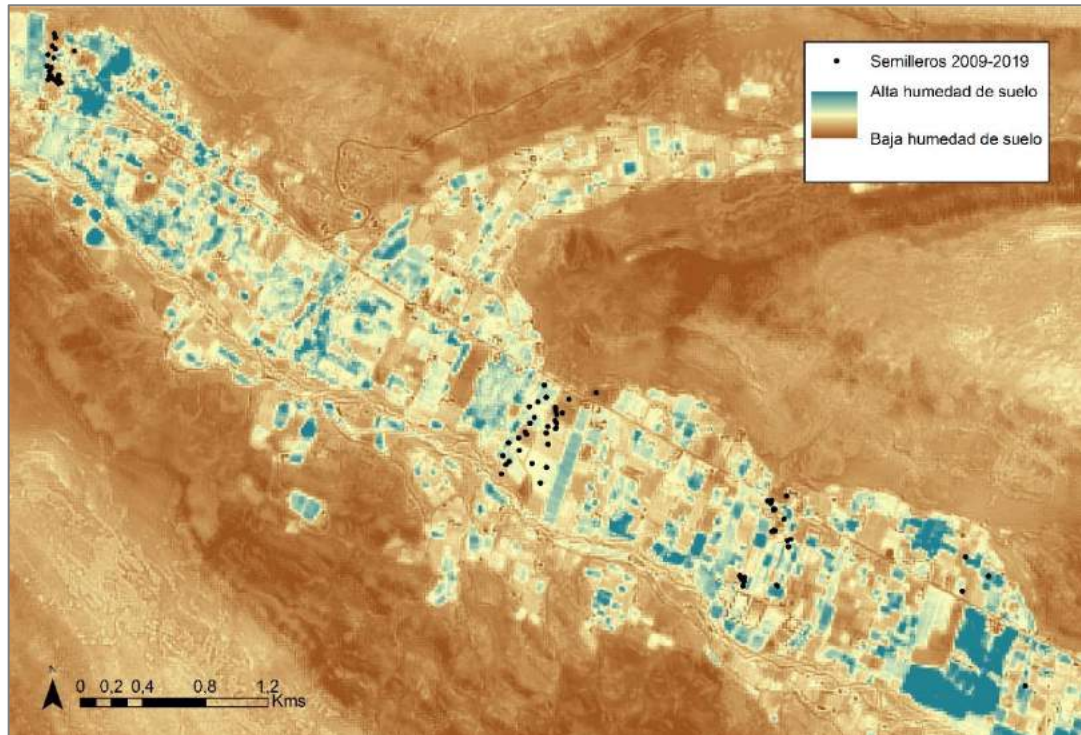
El análisis de las variables reconversión productiva y humedad de suelo, arrojó un coeficiente de correlación negativo moderado de $-0,53$. Por otro lado, al georreferenciar los datos, se observa que las tierras destinadas al cultivo de semillas coinciden con las de baja humedad, tanto en la parte baja, como media y alta del valle.

Figura 26. Relación reconversión productiva - humedad suelo. Valle de Azapa Bajo Medio



Fuente: Elaboración propia

Figura 27. Relación reconversión productiva - humedad suelo. Valle de Azapa Medio Alto

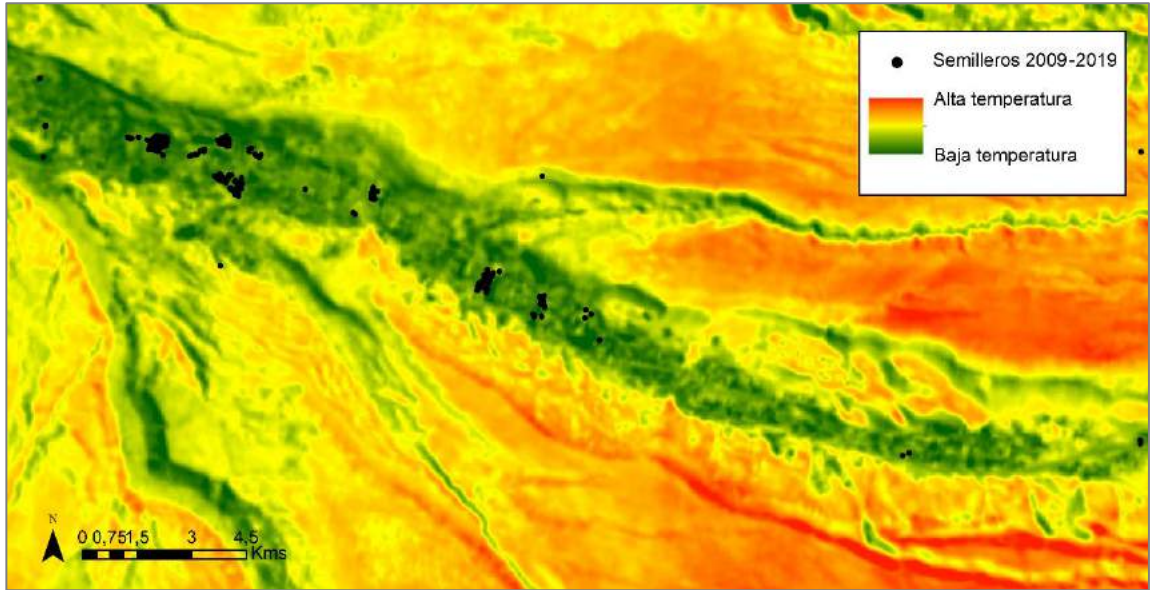


Fuente: Elaboración propia

Reconversión productiva – temperatura superficial

El tipo de correlación existente entre la variable externa reconversión productiva con la interna de temperatura superficial, es negativa moderada, con un coeficiente de -0,58. Los suelos ocupados por semilleras se ubican en sectores con temperaturas bajas dentro de la cuenca, que oscilan entre los 28°C y 32°C.

Figura 28. Relación reconversión productiva – temperatura superficial. Valle de Azapa



Fuente: Elaboración propia

6. DISCUSIÓN

El concepto de servicios ecosistémicos, desde sus orígenes ha sido cuestionado por ser abordado y aplicado desde una perspectiva antropocéntrica, en coherencia con la racionalidad económica propia del modelo capitalista.

En este sentido, resulta interesante, en primera instancia, discutir en torno al uso discursivo que se da a los servicios ecosistémicos tanto en el ámbito académico como político, y cómo podrían eventualmente generar un efecto contrario al propósito original de conservar y proteger los ecosistemas. Cabe señalar que, lo anterior no desmerece los esfuerzos y avances que ha tenido el surgimiento de este concepto y su aplicación en materia ambiental, sobre todo en lo que se refiere a la valoración de los ecosistemas en distintos niveles y por distintos actores.

La racionalidad económica liderada por el capitalismo, ha funcionado bajo una lógica extractivista, opuesta a la lógica conservacionista de la racionalidad ambiental. Estas lógicas se yuxtaponen, mediante discursos ecológicos en los que conceptos como el de servicios ecosistémicos, se plantean como una solución a la degradación ambiental, sin embargo, por lo menos en este caso, se intenta dar valor monetizando estos servicios, lo que finalmente promueve procesos económicos y sociales que terminan con la explotación de los mismos.

Esta contradicción se manifiesta claramente en el Valle de Azapa, que posee características climáticas, edáficas, vegetacionales, e hídricas que lo convierten en un verdadero oasis a nivel regional. Entre estas características se encuentra el situarse en una zona árida, ser el más próximo a la ciudad de Arica, ser el más fértil de la región, proporcionar paisajes para el desarrollo de distintas actividades productivas y recreacionales, abastecer de alimentos el mercado regional y nacional, con ello, contribuir en la economía local, entre otras. En este contexto, las dinámicas de expansión urbana y reconversión productiva abordadas en el presente estudio, parecen constituirse como procesos resultantes de esta nueva lógica desprendida de la interacción entre racionalidades económicas y ambientales.

Por un lado, la expansión urbana hacia el Valle de Azapa ha presentado una evolución exponencial durante los últimos años, apreciable en la proliferación de parcelas de 5.000 m² principalmente en el sector bajo, colindante con la ciudad de Arica. Esta dinámica, viene acompañada de la idea de naturaleza como sinónimo de bienestar, calidad de vida, y como consecuencia, pasa a ser considerada un bien de consumo exclusivo, lo que ha propiciado el incremento de precios de terrenos agrícolas en la región. Actualmente, los terrenos agrícolas de Azapa, se sitúan dentro de los más costosos a nivel nacional, lo que, a su vez, ha desencadenado un criterio de segregación social, al limitar el acceso a estos bienes a un público con mayor capacidad adquisitiva. Por consiguiente, desde

hace un tiempo se han estado loteando terrenos con superficies menores a 5.000m², que son vendidos en forma de derechos y acciones, formado barrios tipo urbanos en medio del valle.

No obstante, los resultados demuestran que, aparentemente, o por lo menos en el corto plazo, la expansión urbana no ha impactado negativamente los servicios ecosistémicos que presta el suelo, ya que, si bien existe relación entre las variables analizadas, tanto la vegetación, como la humedad del valle han aumentado durante las últimas décadas. Lo anterior, podría relacionarse con el hecho de que el cambio de uso de suelo agrícola productivo a uso habitacional, ha significado una plantación de policultivos y creación de áreas verdes que se traducen en un aumento de biomasa y por lo tanto de humedad. Sin embargo, habría que preguntarse si los recursos hídricos disponibles tienen la capacidad de sostener esta práctica en el tiempo, considerando que las napas subterráneas del valle no solo permiten la actividad agrícola productiva, sino que, además, abastecen de agua potable a la ciudad de Arica.

Por otro lado, la dinámica de reconversión productiva agrícola también viene siendo el resultado de una serie de procesos socio-económicos, que buscan aprovechar al máximo el potencial productivo de los recursos hídricos y edáficos. En el Valle de Azapa, si bien existen algunos intentos por modernizar la agricultura, el cambio más significativo que ha experimentado durante los últimos

años se relaciona con la introducción de cultivos transgénicos de semillas, que viene acompañado con nuevas tecnologías y mecanismos de producción. Cabe señalar que, la legislación chilena favorece la inserción de semilleras en las áreas rurales, sin embargo, no considera las condiciones previas a su instalación y por lo tanto las implicancias en las áreas a cultivar. Por ejemplo, en el Valle de Azapa, las empresas de semillas arriendan tierras a campesinos, negociando la tala de árboles existentes, que en la mayoría de los casos son olivos. Resulta curioso que los suelos destinados para el cultivo de semillas anteriormente hayan sido terrenos ocupados por este tipo de cultivo, que ya no es considerado un negocio rentable en el valle, debido al alto trabajo y costos asociados a su mantenimiento (poda, abono, control de plagas), posterior cosecha (raima) y preparación de aceitunas o aceite de oliva; lo cual no lo convierte en un producto competitivo frente a productos peruanos que se han insertado en el mercado nacional. No obstante, a pesar del aparente incremento de empresas de semillas en el valle, los registros del SAG indican que la inscripción de estos cultivos ha disminuido en el tiempo. Los cultivos inscritos cada año ocupan los mismos lugares, los cuales coinciden con aquellos de baja o nula vegetación y menor humedad de suelo.

En términos generales, la sinergia entre la racionalidad económica imperante y la incipiente racionalidad ambiental, en el Valle de Azapa han impulsado dinámicas sociales que hacen un uso distinto del espacio, y que si bien, aparentemente no están teniendo impactos significativos en los servicios ecosistémicos del suelo, podrían desencadenar o acelerar impactos no previstos en el medio, mediano y/o largo plazo; sobre todo considerando que los procesos de formación de suelo funcionan a una escala temporal geológica, muy distinta a la escala humana, por lo tanto, las dinámicas que se desarrollan en él, podrían generar presiones que superen la capacidad de regeneración del mismo.

7. CONCLUSIONES

Durante las últimas décadas, en el Valle de Azapa se han venido desarrollando dinámicas de expansión urbana y reconversión productiva en los suelos con mejor capacidad de uso, situados principalmente en la parte baja y media del valle.

Pese a la introducción de estas nuevas dinámicas, no se observa un impacto negativo significativo en los servicios ecosistémicos del suelo, lo que refleja la versatilidad y distintas vocaciones que tienen los territorios. Esto es importante destacar, puesto que en general se asocia la agricultura como una actividad amigable con el medio ambiente y cualquier otra actividad, como algo amenazante, lo que puede o no ser correcto dependiendo del tipo de actividad y características del sistema cuenca en el que se desarrolla.

No obstante, resulta necesario abordar la problemática considerando un mayor número de variables y en una escala temporal más amplia, para poder tener certeza de los impactos asociados y, aun así, seguirían existiendo incertidumbres. Esto debido a que en una cuenca son múltiples las variables que interactúan, y las actividades socio-económicas que ejercen presión sobre las mismas difieren temporalmente de la escala de los procesos naturales. Por ello,

se requiere abordar las temáticas ambientales de manera más amplia, volviendo la mirada hacia la naturaleza más que hacia el ser humano.

La temática ambiental, que ha tomado relevancia tras las evidentes problemáticas que se han generado por la acción humana, se aborda desde distintos paradigmas. Actualmente la racionalidad que promueve las acciones sociales en el mundo occidental, se desprende de un modelo económico que, si bien ha sido mermado por las ideas ambientalistas, sigue siendo predominante. Y aun si la racionalidad imperante cambiase en pos del medio ambiente, seguirán surgiendo nuevas problemáticas, propias de las interacciones sistémicas entre la naturaleza y el ser humano.

Por lo tanto, resulta fundamental abordar los problemas ambientales desde una perspectiva histórica, sistémica e interdisciplinaria, con tal de prever, en la medida que sea posible, impactos mediatos e inmediatos en los ecosistemas. A este proceso, además debería sumarse la acción articulada de distintos actores, que incluya a políticos, privados, académicos y comunidades; que analicen el territorio en distintas escalas.

El análisis de cuencas en este sentido, toma relevancia debido a que se constituyen como unidades sistémicas que, al estar delimitadas, facilitan el análisis y, por ende, la formulación de planes y aplicación de políticas públicas.

La cuenca del río San José, en particular, donde se inserta el valle de Azapa, es una de las más importantes de la región, al prestar numerosos servicios ecosistémicos, desde aquellos de provisionamiento como recursos alimenticios, hídricos, edáficos, hasta culturales, relacionados con identidad, festividades, actividades económicas tradicionales, entre otros.

Sin embargo, queda desprovista de protección, debido a que, si bien existen esfuerzos y normativas para proteger los ecosistemas, quedan pendiente numerosos desafíos en materia ambiental.

En este contexto, es posible mencionar que no existen estrategias preventivas para los posibles impactos ambientales, tampoco existen estudios acabados y detallados de los impactos en los servicios ecosistemas, tampoco planes de recuperación y por último, no existe una ley de ordenamiento territorial que regule el asentamiento en Chile, sino más bien existen instrumentos de planificación como el plan regulador que tiene un carácter más bien indicativo, y no aplica para áreas rurales.

Por lo tanto, la invitación es a seguir generando estrategias que aseguren el funcionamiento de los ecosistemas, sin asignarle vocación a los territorios, desde una mirada economicista-extractivista.

8. ANEXOS

Anexo 1. Clasificación de uso de suelo agrícola USDA. Tierras aptas para cultivo

Clase	Características
Clase I	Los suelos de la Clase I tienen pocas limitaciones que restrinjan su uso. Son casi planos, profundos, bien drenados, fáciles de trabajar, poseen buena capacidad de retención de humedad y la fertilidad natural es buena. Los rendimientos que se obtienen, utilizando prácticas convenientes de manejo, son altos en relación con los de la zona. Se adaptan bien para cultivos intensivos y en su uso se requieren prácticas simples de manejo para mantener su potencialidad productiva y su fertilidad natural.
Clase II	Los suelos de la Clase II presentan algunas limitaciones que reducen la elección de los cultivos o requieren moderadas prácticas de conservación. Son suelos planos con ligeras pendientes, profundos a moderadamente profundos, de buena permeabilidad y drenaje. Presentan texturas favorables que pueden variar a extremos más arcillosos o arenosos respecto a las texturas de la Clase I. Las limitaciones más frecuentes de esta Clase, las que se pueden presentar solas o combinadas, son las siguientes: Pendientes suaves (de 0 a 4%) y microrelieve poco acentuado. Moderada susceptibilidad a la erosión por agua o viento o efectos adversos moderados de erosión pasada. Profundidad menor que la ideal. Estructura y facilidad de laboreo desfavorable. Ligera humedad corregible por drenaje, pero existiendo siempre como una limitación moderada. Limitaciones climáticas ligeras.
Clase III	Los suelos de la Clase III presentan moderadas limitaciones en su uso y restringen la elección de cultivos, aunque pueden ser buenas para ciertos cultivos especiales. La topografía varía de plana a moderadamente inclinada (hasta 8%), poca profundidad efectiva, la permeabilidad varía de lenta a muy rápida. Los suelos de esta Clase requieren prácticas especiales de conservación. Las limitaciones más comunes para esta Clase se refieren a: Suelo descansando sobre roca. Alta susceptibilidad a la erosión o efectos visibles de ella. Excesiva humedad o riesgos continuos de inundación que restringen el desarrollo radicular. Baja fertilidad inherente. Topografía moderadamente ondulada. Profundidad del suelo que restringe el desarrollo de las plantas. Estructura y textura desfavorables. Baja capacidad de retención de agua.
Clase IV	Los suelos de la Clase IV presentan severas limitaciones de uso que restringen la elección de cultivos. Requieren de un manejo muy cuidadoso y, por ello, más difícil de aplicar y mantener que las de la Clase III. Los suelos de esta Clase pueden estar adaptados sólo para dos o tres de los cultivos comunes y la cosecha producida puede ser baja con relación a los gastos sobre un período largo de tiempo. Las limitaciones más usuales para esta Clase se refieren a: Suelos delgados a muy delgados. Pendientes pronunciadas con topografías moderadamente onduladas y disectadas. Baja capacidad de retención de humedad. Humedad excesiva con riesgos continuos de anegamiento. Moderados efectos adversos de clima. Severa susceptibilidad a la erosión por agua o severa erosión efectiva

Fuente: Comisión Nacional de Riego

Anexo 2. Clasificación de uso de suelo agrícola USDA. Tierras de uso limitado generalmente no adaptada a los cultivos

Clase	Características
Clase V	Esta es una Clase especial que prácticamente no se usa. Los suelos de esta Clase tienen escaso o nulo riesgo de erosión, pero presentan otras limitaciones que no pueden removerse en forma práctica, limitando su uso a cultivos de empastadas, praderas naturales de secano o forestación. Los suelos son casi planos, demasiado húmedos o pedregosos o rocosos, para ser cultivados por los métodos tradicionales. Están condicionados a inundaciones frecuentes y prolongadas. Cuando son planos inclinados (pie de monte) y que por factores climáticos no tienen posibilidad de cultivarse, pero pueden emplearse en la producción de praderas.
Clase VI	Corresponden a suelos inadecuados para los cultivos agronómicos y su uso está limitado para pastos y forestación. Los suelos tienen limitaciones continuas que no pueden ser corregidas como pendientes muy pronunciadas (hasta 30%), alta susceptibilidad a la erosión o efectos severos de ella, suelos muy delgados o pedregosos, excesiva humedad (drenaje pobre a muy pobre), muy baja capacidad de retención de humedad, clima desfavorable especialmente en durante la estación de crecimiento.
Clase VII	Los suelos de esta Clase presentan limitaciones muy severas que los hacen inadecuados para los cultivos agronómicos. Su uso fundamental es pastoreo y forestación. Las restricciones que presentan estos suelos son más severas que los de a Clase VI por una o más de las limitaciones siguientes y que no pueden corregirse: pendientes muy pronunciadas (hasta 60%), con topografías muy irregulares y disectados; suelos muy delgados, humedad excesiva (pobremente drenados), muy baja capacidad de retención de humedad, clima desfavorable durante la estación de crecimiento.
Clase VIII	Los suelos de esta Clase no tienen valor agrícola, ganadero o forestal. Su uso está limitado solamente para la vida silvestre, recreación o protección de hoyas hidrográficas y cauces de ríos y esteros.

Fuente: Comisión Nacional de Riego

9. BIBLIOGRAFÍA

Acosta, I. (2017). Proliferación del modelo corporativo agroindustrial en América Latina. *Desarrollo y democracia. Relaciones en conflicto* 1:149-166.

Alcántara, J. (2009). Efectos de la globalización sobre la agricultura de la XV región Arica y Parinacota: El caso de las empresas semilleras (Tesis de pregrado). Universidad de Tarapacá, Arica, Chile.

Agualimpia, Y. y Castro, E. (2016). Análisis de posibles conflictos entre usos agrícola, rural, urbano y ambiental de los suelos. *Ingeniería y Región* 16(2):85-97.

Araya, K. (2015). Transformaciones socio-territoriales en el radio peri-urbano de la ciudad de Arica y sus efectos en el sector agrícola del Valle de Azapa (Tesis de pregrado). Universidad de Tarapacá, Arica, Chile.

Balvanera, P.; Uriarte, M.; Almeida-Leñero, L.; Altesor, A.; DeClerck, F.; et al. (2012). Ecosystem services research in Latin America: The state of the art *Ecosystem Services* (2):56–70

Bazant, J. (2010). Expansión urbana incontrolada y paradigmas de la planeación urbana. *Espacio Abierto* 19(3):475-503.

Bermejo, R. (2014). Del desarrollo sostenible según Brundtland a la sostenibilidad como biomimesis. Hegoa, España, 59p.

Caro, C. y Torres, M. (2015). Servicios ecosistémicos como soporte para la gestión de sistemas socioecológicos: Aplicación en agrosistemas. *Orinoquia* 19(2):237-252.

Carrasco, J.; Aguirre, C.; Sepúlveda, F. (2014). Propiedades físicas de los suelos del Valle de Azapa y su relación con la producción de hortalizas. En: Sepúlveda, F.; Carrasco, J. (Comp.) Validación de alternativas al bromuro de metilo como desinfectante de suelo en el Valle de Azapa. Instituto de Investigaciones Agropecuarias –INIA, Boletín N°302, 102p.

Castro, C. y Aliaga, C. (2010). Evaluación de la pérdida de suelo, asociada al proceso de expansión urbana y reconversión productiva. Caso: comunas de Los Andes, Quillota y Concón, valle del Aconcagua. *Revista de Geografía Norte Grande*, 45: 41-49.

Castro, E.; González, M.; Múnevar, C. (2018). Paradigmas y tendencias en la organización del espacio rururbano: una revisión teórica. *Ciudad y Territorio, Estudios Territoriales* L:196:187-200.

Cifuentes-Ávila, F.; Díaz-Fuentes, R.; Osses-Bustingorry, S. (2017). Ecología del comportamiento humano: las contradicciones tras el menaje de crisis ambiental. *Acta bioeth* 24(2):161-165.

Cifuentes-Espinosa, J.; Feintrenie, L.; Gutiérrez-Montes, I.; Sibelet, N. (2018). Servicios ecosistémicos y su provisión según los usos de suelo en poblaciones rurales de Nicaragua. En: *Memorias del XXII Congreso de la sociedad mesoamericana para la biología y la conservación. "Mesoamérica unida para la conservación de la biodiversidad"*. Monge Arias, Guisselle (ed.). SMBC. Ciudad de Panamá: Sociedad Mesoamericana para la Biología y la Conservación (SMBC), 233p.

Córdoba, G. y Camardelli, M. (2019). Tipos de Usos de la Tierra en el Chaco Salteño: Consecuencias de las formas de apropiación de los servicios ecosistémicos sobre el sistema socio-ecológico. En: *Repensando el Desarrollo Rural en los Territorios del Norte Argentino* (Rodríguez, F. y Ataide, S.), 163-192.

Costanza, R.; d'Arge, R.; De Groot, R.; Farber, S.; Grasso, M.; Hannon, B.; Limburg, K.; Naeem, S.; O'Neil, R.; Paruelo, J.; Raskin, R.; Sutton, P.; Van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 253-259.

Daily, D. (Ed). (1997). *Nature's Services. Societal Dependence On Natural Ecosystems*. Island Press, Washington, DC, 392p.

Del Valle Neder, L.; Busnelli, J. y Sampietro, M. (2010). Incremento de erosión y suelos degradados por acciones antropogénicas y variaciones climáticas, Tucumán. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 66(4):499-504.

Ekers, M., Hamel, P., y Keil, R. (2012). Governing Suburbia: Modalities and Mechanisms of Suburban Governance. *Regional Studies*, 46(3):405-422.

García, Y.; Ramírez, W. y Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes*, 35(2):125-138.

Gallardo, C. (2018). Estudio del impacto de la instalación de empresas productoras de semillas hacia los productores de aceitunas del Valle de Azapa (Tesis de pregrado). Universidad de Tarapacá, Arica, Chile.

González, F.; Riquelme, A.; Contreras, P.; Mazuela, P. (2013). Antecedentes generales para la sustentabilidad de la producción hortícola en el valle de Azapa, Arica, Chile. *Revista Idesia*, 31(4):119-123.

Haines-Young, R. y Potschin, M. (2012). Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) Version 4.1. European Environmental Agency, 17 p.

Hernández, J; Fernández, M.; Ortuño, A. y Alarcón, M. (2010). Influencia del uso del suelo en su calidad ambiental en medio semiárido (Murcia SE España). *Revista de Ciencias Agrarias*, 33(1):199-208.

Instituto Nacional de Estadísticas (INE) y Ministerio de Vivienda y Urbanismo (Minvu) (2018). Metodología para medir el Crecimiento Urbano de las Ciudades de Chile. Editora e Imprenta Maval SPA, 68p.

IPBES (2019). El informe de la evaluación mundial sobre la diversidad biológica y los servicios de los ecosistemas. Resumen para los encargados de la formulación de políticas. S. Díaz, J. Settele, E. S. Brondízio E.S., H. T. Ngo, M. Guèze, J. Agard, A. Arneth, P. Balvanera, K. A. Brauman, S. H. M. Butchart, K. M. A. Chan, L. A. Garibaldi, K. Ichii, J. Liu, S. M. Subramanian, G. F. Midgley, P. Miloslavich, Z. Molnár, D. Obura, A. Pfaff, S. Polasky, A. Purvis, J. Razzaque, B. Reyers, R. Roy Chowdhury, Y. J. Shin, I. J. Visseren-Hamakers, K. J. Willis, and C. N. Zayas (eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany. 56 pp.

Mutti, P.; Vincent, P.; Bezerra, B. (2020). NDVI time series stochastic models for the forecast of vegetation dynamics over desertification hotspots. *International Journal of Remote Sensing* (41):2759-2788.

Navarro, J.; Melendez-Pastor, I.; Gómez, L.; Almendro, M. (2007). Segmentación de imágenes mediante el empleo de índices de vegetación para la estimación de parámetros edáficos. En; *Acceso a la información espacial y las nuevas tecnologías geográficas*: 1093-1105.

Jiménez, V.; Hidalgo, R.; Campesino, A.; Alvarado, V. (2018). Normalización del modelo neoliberal de expansión residencial más allá del límite urbano en Chile y España.

Kadykalo, A.; López-Rodríguez, M.; Ainscough, J.; Droste, N.; Ryu, H.; Ávila-Flores, G. (2019). Disentangling “ecosystem services” and “nature’s contributions to people”. *Ecosystems and People*, 16:269-287.

Kamali, E.; Hashemi, H.; Berndtsson, R.; Daneshkar, P.; Kazemi, M. (2020). Impact of spatiotemporal land-use and land-cover changes on surface urban heat islands in a semiarid region using Landsat data. *International Journal of Digital Earth*.

Kirchhoff, T. (2019). Abandoning the Concept of Cultural Ecosystem Services, or Against Natural–Scientific Imperialism. *BioScience*, Volume 69 (3):220-227.

La Notte, A.; D’Amato, D.; Mäkinen, H.; Paracchini, M.; Liqueste, C.; Egoh, B.; Gneletti, D.; Crossman, N. (2017). Ecosystem services classification: A systems ecology perspective of the cascade framework. En: *Ecological Indicators* 74(1), 392 – 402.

Lahoz, E. (2010). Reflexiones medioambientales de la expansión urbana. *Cuadernos Geográficos* 46:293-313.

Leff, E. (2002). La geopolítica de la biodiversidad y el desarrollo sustentable: Economización del mundo, racionalidad ambiental y reapropiación social de la naturaleza. En: Ceceña, A. y Sader, E., (Coords.). *La guerra infinita. Hegemonía y terror mundial*. CLACSO, Argentina, 280p.

Leff, E.; Argueta, A.; Boege, E.; Porto, C. (2002). Más allá del desarrollo sostenible: La construcción de una racionalidad ambiental para la sustentabilidad: Una visión desde América Latina. En: Leff, E.; Ezcurra, E.; Pisanty, I. y Romero, P. (*Comp.*). La transición hacia el desarrollo sustentable. Perspectivas de América Latina y el Caribe. INE-SEMARNAT, PNUMA, UAM, México, 578p.

Leff, E. (2011). Sustentabilidad y racionalidad ambiental: hacia "otro" programa de sociología ambiental. *Revista Mexicana de Sociología* 73(1):5-46.

Luzio, W., Casanova, M. (2006). Avances en el conocimiento de los suelos de Chile. Universidad de Chile y Servicio Agrícola y Ganadero (SAG), Chile, 393p.

Meza, M.; Castro, C.; Pereira, K.; Puga, G. (2017). Indicadores para el monitoreo de la calidad del suelo en áreas periurbanas. Valle de Quillota, Cuenca del Aconcagua, Chile. *Interciencia* 42(8):494-502.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA) (2014). Propuesta sobre marco conceptual, definición y clasificación de servicios ecosistémicos para el Ministerio de Medio Ambiente. División de Información y Economía Ambiental, MMA Chile, 13p.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA) (2015). Diagnóstico del estado y tendencias de la biodiversidad: Región de Arica y Parinacota. Chile, 62p.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA) (2017). Estrategia nacional de biodiversidad 2017-2030. Chile, 102p.

Ministerio de Vivienda y Urbanismo (Minvu) (2013). Hacia una nueva política urbana para Chile. Elementos de diagnóstico. Maval, Chile, 116p.

Molina, L.; Correa, J.; Feijo, A. (2019). Transformaciones territoriales, mudanzas y cambios en servicios ecosistémicos, Armenia, Colombia. *Revista Colombiana de Ciencias Sociales* 10(1):93-118.

Montico, S.; Di Leo, N.; Bonel, B. y Denoia, J. (2019). Cambios de uso de la tierra en la cuenca del arroyo Ludueña, Santa Fe: Impacto en la sostenibilidad y en los servicios ecosistémicos. *Cuadernos del Curiham* 25:31-39.

Montoya-Tangarife, C., De la Barrera, F., Salazar, A., Inostroza, L. (2017). Monitoreo de los efectos del cambio en la cobertura del suelo en la oferta de servicios ecosistémicos en una región urbana: un estudio de Santiago-Valparaíso, Chile. En: PLoS ONE 12(11).

Mooney, H. y Ehrlich, P. (1987). Ecosystem Services: A Fragmentary History. En: G.C. Daily (Ed.). Nature's Services: Societal Dependence On Natural Ecosystems. Washington, DC. 11-22.

Palomo, C. (2019). El proceso de rururbanización en la parte baja del valle de Azapa desde 2003 hasta 2018: Una percepción remota y social (Tesis de pregrado). Universidad de Tarapacá, Arica, Chile.

Perry, S. (2008). Reconversión productiva de la agricultura. Segunda Edición, Secretaría General de la Comunidad Andina, Perú, 116p.

SAGARPA -Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación- (2004). Reconvención productiva sustentable. Seminario reconversión productiva y agricultura por contrato. Gobierno Federal de México, 18p.

Schröter, M.; Van der Zanden, E.; Van Oudenhoven, A.; Remme, R.; Serna-Chavez, H.; De Groot, R. y Opdam, P. (2014). Ecosystem Services as a contested concept: a synthesis of critique and counter-arguments. Conservation Letters, 7(6):514-523.

Seppelt R.; Dormann CF.; Eppink FV.; Lautenbach S.; Schmidt S. (2011). A quantitative review of ecosystem service studies: approaches, shortcomings and the road ahead. Journal of applied Ecology, 48(3): 630–636.

Tariq, A.; Riaz, I.; Ahmad, Z.; Yang, B.; Amin, M.; Kausar, R.; Andleeb, S.; Aslam, M.; Rafiq, M. (2020). Land surface temperature relation with normalized satellite indices for the estimation of spatio-temporal trends in temperature among various land use land cover classes of an arid Potohar region using Landsat data. Environmental Earth Sciences 7(40).

Torres, A. (1999). Características químicas e hídricas de los suelos de la parte baja del valle de Azapa 1 Región Tarapacá. Revista Idesia, 16:7-15.

Traub, A. (2011). La biotecnología en la industria semillera nacional y su aporte al desarrollo de Arica. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias – ODEPA, Ministerio de Agricultura, 14p.

Ubilla-Bravo, G. (2020). Rururbanización, suburbanización y reconcentración de la tierra: efectos espaciales de instrumentos rurales en las áreas periurbanas de Chile. *Ager, Revista de Estudios sobre Despoblación y Desarrollo Rural*, 28:75-106.

Vergara, J. (2016). Análisis de la transformación de uso del suelo sector rururbano del Valle de Azapa (2000-2016) y sus efectos territoriales. Una perspectiva desde la planificación territorial y la normativa vigente (Tesis de pregrado). Universidad de Tarapacá, Arica, Chile.

Westman, W. (1977). How Much Are Nature's Services Worth. *Science* 197(4307):960-964.